

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroniky

Analýza systému recirkulace výfukových plynů u spalovacích  
motorů

Analyses of Combustion Engines EGR Systems

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Filip Děrgel**

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika

Téma:

Analýza systémů recirkulace výfukových plynů u spalovacích motorů

Analyses of Combustion Engines EGR Systems

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši koncepčních řešení a funkčních vlastností jednotlivých systémů recirkulace výfukových plynů u spalovacích motorů.
2. S využitím válcové výkonové zkušebny proveďte praktické ověření vlastností regulačních obvodů u konkrétních systémů recirkulace výfukových plynů vznětového a zážehového motoru.
3. Dle pokynů vedoucího bakalářské práce vypracujte typizovanou laboratorní úlohu pro vybraný systém recirkulace výfukových plynů.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího bakalářské práce.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

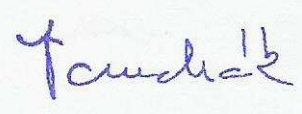
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010



  
doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.  
děkan fakulty

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za odborné vedení, hodnotné rady a příjemnou spolupráci při vypracování této bakalářské práce.

Datum: 7.5.2010

Podpis:

## ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá analýzou systémů pro zpětné vedení výfukových plynů u vybraných typů spalovacích motorů. Hlavním cílem práce je zjištění a následný popis principu chování elektromagnetického ventilu u vznětových a zážehových motorů.

Teoretická část bakalářské práce popisuje význam a funkci jednotlivých dílů pro zpětné vedení výfukových plynů. Zejména se jedná o elektromagnetický ventil pro zpětné vedení výfukových plynů. Praktická část se zabývá analýzou a funkcí elektromagnetického ventilu (např. pod označením N18), což spočívá zejména v měření střidy a napěťové úrovně. Důvodem použití zpětného vedení výfukových plynů (recirkulace výfukových plynů – EGR, AGR) je zmírnění oxidu dusíku ve výfukových plynech a tak zlepšení životního prostředí.

### *Klíčová slova:*

EGR ventil, kombinovaný ventil, recirkulace výfukových plynů, vznětové motory, zážehové motory, podtlaková regulace, emise

## ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the analysis of systems for a retroactive line of exhaust gases with selected types of combustion engines. The main goal of the work is the finding and the consequent description of electromagnetic valve behavioral principle with diesel and petrol engines. The purpose of using the retroactive line of exhaust gases (recirculation of exhaust gases - EGR, AGR) is the reduction of nitrogen oxide in exhaust gases and thus environmental improvement.

The theoretical part of the work describes the purpose and the function of individual parts for the retroactive line of exhaust gases. It is especially about the electromagnetic valve for the retroactive line of exhaust gases.

The practical part deals with the analysis of the electromagnetic valve function (e.g. under the indication N18) which is based on measuring of duty cycle and the voltage level.

### *Keywords:*

EGR valve, combined valve, Exhaust gas recirculation, diesel engines, gasoline engines, vacuum regulation, emission

## **SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ**

- **CO – Oxid uhelnatý**
- **CO<sub>2</sub> – Oxid uhličitý**
- **HC – Nespálené uhlovodíky**
- **NO<sub>2</sub> – Oxidy dusíku**
- **PM – Saze**
- **$\lambda$  – lambda , hmotnost podílu vzduchu a paliva**

## OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>8</b>
<b>1 ZPĚTNÉ VEDENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ.....</b>	<b>9</b>
1.1 Interní regulace .....	10
1.2 Externí regulace .....	10
<b>2 VENTILY PRO ZPĚTNOU RECIRKULACI VÝFUKOVÝCH PLYNŮ .....</b>	<b>11</b>
2.1 Ventil zpětného vedení výfukových plynů N18 .....	11
2.2 Kombinovaný ventil (elektromagnetický ventil pro zpětné vedení výfukových plynů).....	12
<b>3 ZPĚTNÉ VEDENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ U ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ.....</b>	<b>14</b>
3.1 Homogenní provoz .....	14
3.2 Provoz s vrstveným plněním .....	14
<b>4 RECIRKULACE VÝFUKOVÝCH PLYNŮ U VZNĚTOVÝCH MOTORŮ .....</b>	<b>15</b>
4.1 Systém se snímačem polohy v EGR ventilu .....	15
4.2 Systém se snímačem hmotnosti nasávaného vzduchu .....	16
4.3 Systém recirkulace výfukových plynů u vznětových přeplňovaných motorů .....	16
<b>5 PRAKTICKÁ MĚŘENÍ.....</b>	<b>17</b>
5.1 Měření systému EGR vznětového motoru Škoda Superb 1.9 TDi PD 96kW motor AWX .....	17
5.1.1 Měření při volnoběžných otáčkách.....	17
5.1.2 Měření při akceleraci .....	19
5.1.3 Měření řídicího tlaku vzduchu .....	20
5.2 Měření systému EGR vznětového motoru Škoda Octavia 1.9 TDi 66kW .....	21
5.2.1 Fotodokumentace jednotlivých měřících bodů systému ERG .....	21
5.2.2 Měření při volnoběžných otáčkách.....	22
5.2.3 Měření při akceleraci .....	25
5.3 Měření systému EGR zážehového motoru Škoda Fabia 1.2 HTP 12V 47kW .....	29
5.3.1 Elektrické schéma zapojení elektromagnetického ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů a postup měření .....	31
5.3.2 Měření průběhu na potenciometru, otevírání ERG ventilu .....	32
5.4 Měření systému EGR zážehového motoru Škoda Octavia 2.0 FSI 110 kW typ motoru BLX.....	35
5.4.1 Elektrické schéma zapojení elektromagnetického ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů.....	36
5.4.2 Měření potenciometru pro zpětné vedení výfukových plynů.....	36
5.4.3 Měření elektromagnetického ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů .....	37
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>40</b>

<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>41</b>
--	-----------

## ÚVOD

V průběhu vývoje automobilů se vyčlenily především dva základní typy spalovacích motorů: zážehové (benzínové motory) a vznětové (naftové motory). Zážehový motor je spalovací motor, u něhož je směs paliva a vzduchu ve válci zapálena (zažehnuta) elektrickou jiskrou, kterou obvykle vytvoří zapalovací svíčka. Tím se liší od vznětového motoru, kde dochází k samovznícení vstříknutého paliva díky teplotě stlačeného vzduchu [5]. U spalovacích motorů se energie obsažená v palivu mění na mechanickou, čili pohybovou energii.

Zážehový motor je v dnešní době zcela jistě nejužívanějším tepelným strojem ve světě. Nejčastěji je používán jako pohonná jednotka osobních i některých nákladních automobilů, bývá součástí například čerpadel a výkonných kompresorů. Zážehové motory dělíme na dvoutaktní a čtyřtaktní. Jako zdroj energie (palivo) je zde využíván benzin. U čtyřtaktních motorů je benzin bez příměsí, u dvoutaktních je do paliva přimícháván olej, který nahrazuje v palivu dříve používané olovo a vynahrazuje tak jeho mazací schopnost.

Vznětový motor, pojmenovaný po svém vynálezci Rudolfovi Dieselovi, je spalovací motor, u něhož se směs paliva a vzduchu vznítí působením vysoké teploty vzduchu stlačeného ve spalovacím prostoru motoru. Jako zdroj energie zde používáme naftu. K promíchání paliva se vzduchem dochází po vstřiku do spalovacího prostoru. Podle konstrukce spalovacího prostoru a místa vstřiku rozeznáváme vznětové motory:

- S přímým vstřikováním, kde vpuštění a celé hoření proběhne v jednom, hlavním spalovacím prostoru.
- S nepřímým vstřikováním, kde vpuštění a počáteční fáze hoření probíhá ve zvláštním prostoru – komůrce a až následně se proces přenesení do hlavního spalovacího prostoru.

S nárůstem uvedených spalovacích motorů a v souvislosti se současným markantním rozvojem aplikací moderních elektronických vozidlových systémů se zvýšilo také pohodlí a komfort pro uživatele. S tím je mimo jiné také spojen tlak na zlepšování obsahu emisí a je tedy více řešen nepříznivý dopad na životní prostředí. Abychom mohli snížit zatížení na životní prostředí, je potřeba dosažení poklesu škodlivých látek obsažených ve výfukových plynech spalovacích motorů. Abychom omezili množství těchto škodlivin, vyvíjí se systémy, na které jsou kladeny požadavky, aby za minimální spotřebu paliva bylo dosaženo vysokých výkonů a minimálních emisí škodlivých látek. Jeden z těchto systémů na zlepšení emisí a také dodržení (splnění) normy Euro 4 a výše se nazývá systém recirkulace výfukových plynů (EGR).



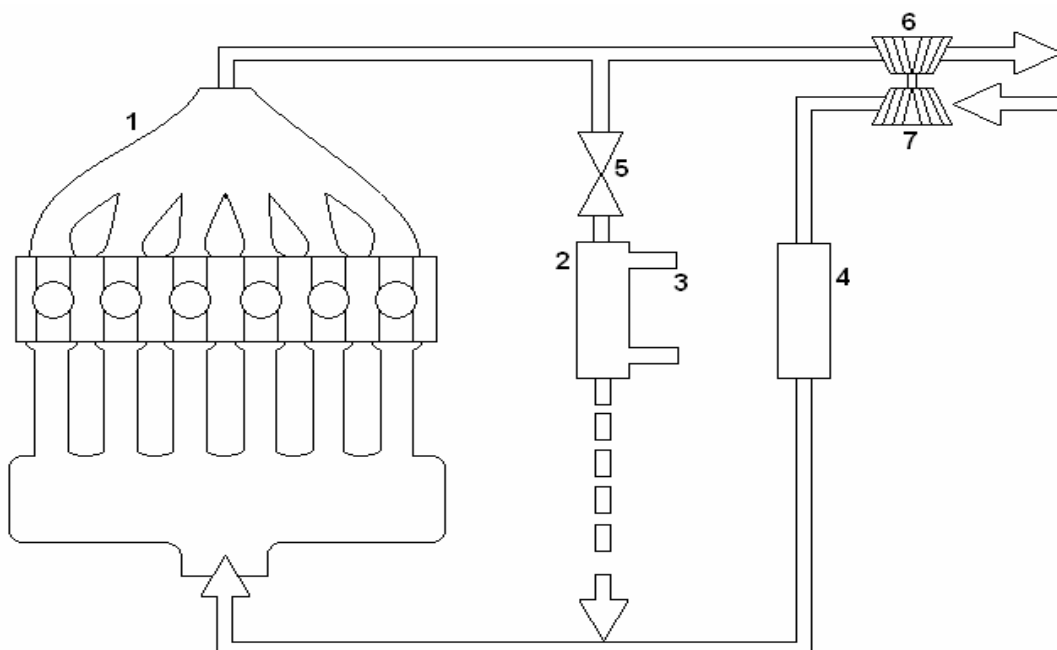
## 1 ZPĚTNÉ VEDENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Pomocí zpětného vedení výfukových plynů se přivádí část výfukových plynů zpět do spalovacího prostoru. Až do určitého stupně se může stoupající podíl výfukových plynů projevovat pozitivně na převodu energie a tím snižovat emise škodlivých látek. V závislosti na provozním režimu se skládá nasávaná směs vzduchu až z 40% výfukových plynů.

Použitím turbodmychadla a přímého vstřikování paliva vzrůstá kompresní poměr a také teplota ve spalovacím prostoru. To vede ke zvyšování tvorby oxidu dusíku ve spalovacím prostoru. Proto se u vznětových motorů používá zpětné vedení výfukových plynů s chlazením. Chlazením výfukových plynů, které se přivádí zpět do spalovacího procesu, se snižuje teplota spalování a je možné spálit větší množství výfukových plynů. Tím se sníží obsah oxidů dusíku ve výfukových plynech.

Ke snížení škodlivých emisí při minimálním zvýšení spotřeby paliva se u vznětových motorů používá recirkulace výfukových plynů s chlazením, jak již bylo uvedeno výše.

Princip: Systém recirkulace spalín je umístěn ve vysokotlaké oblasti motoru. Zpět přiváděné výfukové plyny se přebírají z hlavního proudu mezi válci a turbinou (6), v tepelném výměníku (2) se ochlazují chladicí kapalinou motoru a potom se za chladičem plnicího vzduchu (4) přimíchají do čerstvého vzduchu [2].



Obr. 1 Recirkulace výfukových plynů s chlazením

Legenda:

- 1- motor
- 2- tepelný výměník
- 3- přípoj vody
- 4- chladič plnicího vzduchu
- 5- ventil recirkulace spalín
- 6- turbína
- 7- kompresor

Jak již bylo zmíněno, recirkulací výfukových plynů rozumíme řízené vrácení relativní části výfukových plynů zpět do sacího prostoru. Vzhledem k tomu, že výfukové plyny jsou interní, dochází tak při smíchání těchto plynů se směsí ke snížení teploty hoření a také k snížení určitého množství oxidů dusíku již v motoru.

Existují dvě metody recirkulace spalín:

- Interní recirkulace spalín v okamžiku současného otevření sacích i spalovacích ventilů.
- Externí recirkulace prostřednictvím zpětných ventilů a speciálního vedení.

### 1.1 Interní regulace

Interní recirkulace spalín je založena na překrytí ventilů, které je možno ovlivňovat variabilním časováním (přestavováním ventilového rozvodu) [3]. K tomuto jevu dochází tím, že sací ventil se otevře v době, kdy výfukový ventil ještě není úplně uzavřen. Na dobu překrytí závisí podíl zbytku plynů, který může být zpětně do válce nasát spolu s čerstvou směsí. Převážně motory s vyšším výkonem mívají díky většímu objemu lepší plnicí účinek a tedy mohou mít větší překrytí. Mají tedy reálně nižší emise oxidů. Překrytí ventilu však nelze libovolně zvětšovat, protože by nebyl zajištěn stabilní chod motoru bez vynechávání. Rovněž by vzrostly emise HC. Nepostačí-li interní recirkulace snížit v potřebné míře NO<sub>x</sub>, používá se recirkulace externí [4].

### 1.2 Externí regulace

Externí recirkulace je děj, při kterém se již vytlačený plyn přivádí pomocí potrubí zpět k sacímu potrubí a je přiváděn do čerstvé směsi [3]. Podle množství recirkulovaných výfukových plynů je možno snížit emise kyslíku až o 60%. To je ale díky velkému snižování teploty spojeno s nadměrným zvyšováním HC, spotřeby paliva a neklidnému chodu motoru. Pokud bude množství recirkulovaných plynů omezeno na 10% až 15%, není třeba uvažovat o zvýšení spotřeby. Předpokladem je ale současná optimalizace předstihu, což platí v podstatě pro všechna opatření zasahující do průběhu spalovacího procesu. Mez přípustného množství recirkulovaných plynů je určována přírůstkem emisí HC, dále zvýšením spotřeby a zhoršením rovnoměrnosti chodu motoru. Proto se recirkulace při volnoběhu odpojuje, jelikož zde žádné emise NO<sub>x</sub> nevznikají. Je odpojena i při studeném motoru, aby neprodlužovala dobu zahřátí motoru a systému pro potlačení emisí. Také při plném zatížení, kdy se směs obohacuje a koncentrace oxidu jsou nízké, je recirkulace odpojena. Nedochozí tak ke snížení výkonu motoru.

K řízení recirkulace výfukových plynů se dnes používají převážně elektronické systémy, jejichž řídicí jednotka ovládá elektropneumatický ventil, kterým je přesně určováno vratné množství výfukových plynů podle signálů z různých snímačů. U motoru s regulovaným časováním ventilů je možné dosáhnout 30% i větší recirkulace bez patrného zhoršení parametrů motoru. Přitom je množství optimalizováno pro každý provozní bod motoru [4].

## 2 VENTILY PRO ZPĚTNOU RECIRKULACI VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

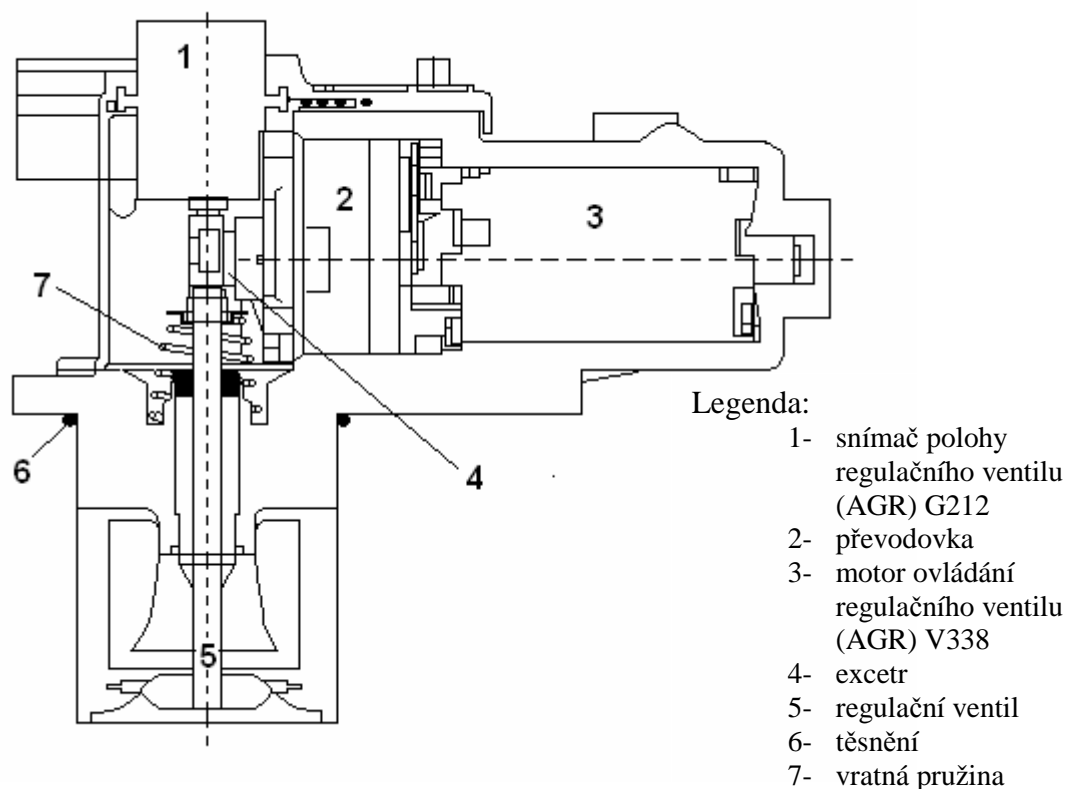
### 2.1 Ventil zpětného vedení výfukových plynů N18

Ventil zpětného vedení výfukových plynů N18 je zkonstruován jako modul a zahrnuje v sobě následující součásti:

- regulační ventil výfukových plynů (AGR)
- motor ovládání regulačního ventilu (AGR) V338
- snímač polohy regulačního ventilu (AGR) G212

Poloha regulačního ventilu je vypočítávána řídicí jednotkou motoru, která posílá signál s modulovanou šířkou do motoru ovládání regulačního ventilu (AGR) V338. Ten pak nastaví pomocí excentru regulační ventil do požadované polohy. Poloha je zjišťována snímačem, polohy regulačního ventilu (AGR) G212, který pracuje na bezkontaktním principu. Zjištěná poloha je zasílána zpět do řídicí jednotky motoru.

Takováto konstrukce ventilu zpětného vedení výfukových plynů N18 umožňuje plynulou regulaci zpětného vedení výfukových plynů. [2]

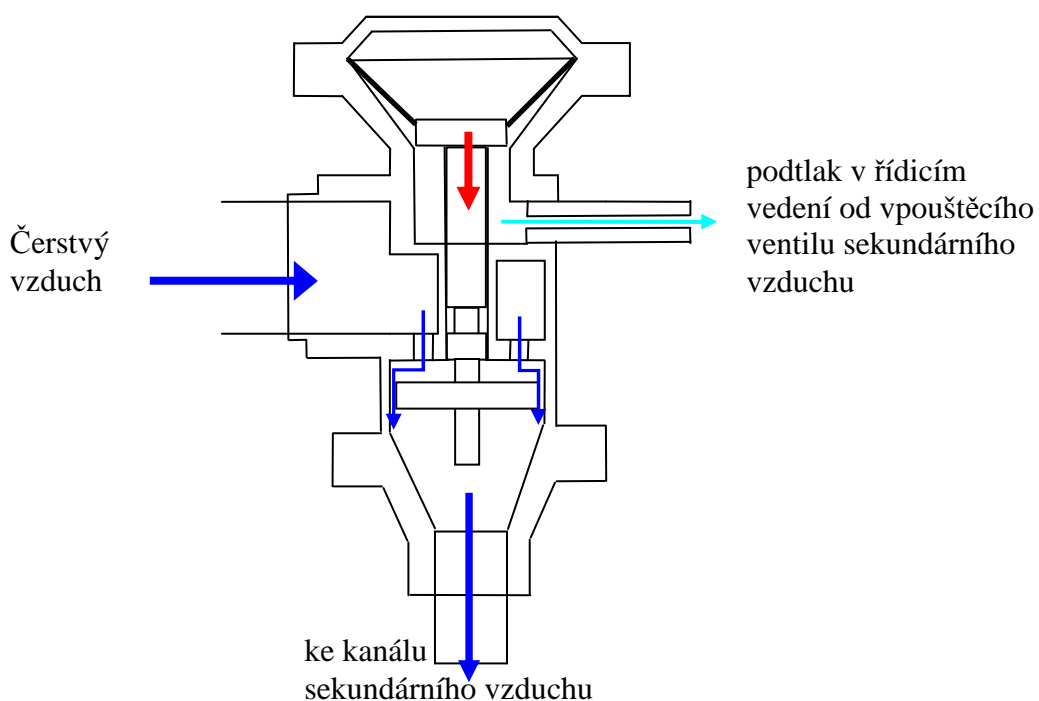


Obr. 2 AGR,(EGR)  
Ventil

## 2.2 Kombinovaný ventil (elektromagnetický ventil pro zpětné vedení výfukových plynů)

### Ventil otevřen

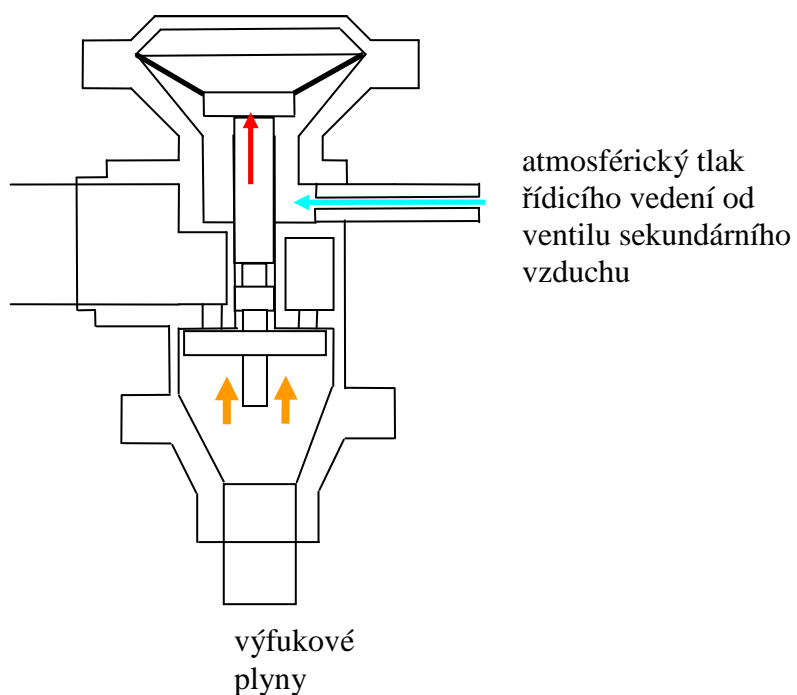
Řídicí jednotka motoru sepne vpouštěcí ventil sekundárního vzduchu. V řídicím vedení kombinovaného ventilu působí podtlak. Cesta od čerpadla sekundárního vzduchu ke kanálu sekundárního vzduchu je uvolněna. Čerpadlo sekundárního vzduchu dopravuje vzduch až za výfukové ventily.



*Obr. 3 Kombinovaný ventil pro zpětné vedení výfukových plynů- v poloze otevřen*

## Ventil uzavřen

Řídicí jednotka motoru vpouští ventil sekundárního vzduchu nesepe. Na kombinovaný ventil působí přes ventil sekundárního vzduchu atmosférický tlak. Cesta od čerpadla sekundárního vzduchu je uzavřena. Kombinovaný ventil brání vstupu horkých výfukových plynů k čerpadlu sekundárního vzduchu a chrání ho tak před poškozením.



*Obr. 4 Kombinovaný ventil pro zpětné vedení výfukových plynů- v poloze uzavřen*

### 3 ZPĚTNÉ VEDENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ U ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ

Zpětné vedení urychluje ohřev motoru na provozní teplotu. Přiváděním výfukových plynů zpět do spalovacího procesu způsobuje pokles špičkových teplot hoření směsi, čímž se omezí tvorba oxidu dusíku. Motory mají externí zpětné vedení výfukových plynů. Výfukové plyny jsou odebírány spojovacím potrubím před katalyzátorem a proudí ventilem pro zpětné vedení výfukových plynů (AGR).

Jejich množství je vypočítáváno řídicí jednotkou. Poloha škrtkové klapky výfukových plynů je nastavována stejnosměrným motorkem a snímána potenciometrem. To umožňuje zpětnou vazbu na řídicí jednotku motoru. Ventil zpětného vedení výfukových plynů je schopen vlastní diagnostiky. Jelikož je těleso ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů chlazeno, je zapojeno také do okruhu chladicí kapaliny.

Ventil pro zpětné vedení výfukových plynů (AGR) je zkonstruován jako modul a zahrnuje v sobě následující součásti:

- škrtkovou klapku výfukových plynů
- elektromotor s potenciometrem zpětného vedení výfukových plynů

Výfukové plyny jsou do spalovacího procesu přiváděny při středním zatížení až do asi 4000 min<sup>-1</sup>, a to jak v homogenním, tak i ve vrstveném režimu. Při volnoběžných otáčkách se výfukové plyny do spalovacího procesu nepřivádějí.

#### 3.1 Homogenní provoz

Při tomto režimu přípravy směsi odpovídá složení směsi paliva se vzduchem stechiometrickému složení ( $\lambda = 1$ ), ve výjimečných případech odpovídá režimu s přebytkem vzduchu ( $\lambda < 1$ ). Vstřík začíná v době sání motoru, tvořená směs tak zaplňuje celý spalovací prostor a tvorba je identická s nepřímým vstřikováním paliva. Rozdíl je v tom, že vstřikované množství je přesně odměřené a jeho množství vytváří směs ideálního poměru pouze pro potřeby akcelerace s mírným přebytkem paliva ( $\lambda \leq 1$ ). Při plném zatížení je snižována teplota stěn válce, zvyšuje se odolnost proti klepání. Motory mohou pracovat s vyšším kompresním poměrem. Charakterizuje jej provoz ve vysokých otáčkách s vysokým točivým momentem.

Podmínkou pro tvorbu směsi jsou vysoké otáčky motoru a požadavek vysokého točivého momentu. Protože směs se vytváří s vysokým přebytkem vzduchu, je tvorba emisí škodlivin velmi nízká.

#### 3.2 Provoz s vrstveným plněním

Tento režim přípravy směsi je vymezen otáčkami a točivým momentem motoru. Je využíván při provozu motoru s nízkým točivým momentem a otáčkami do 3 000 ot/min<sup>-1</sup>. Palivo je vstřikováno těsně před koncem kompresního zdvihu a okamžikem zážehu pod tlakem 50–100 barů. Zpoždění

vstřiku způsobí její soustředění proudícím vzduchem ve válci do oblasti kolem zapalovací svíčky. Směs se tak nerozděluje do celého spalovacího prostoru. Ve válci jsou takto tvořeny vrstvy s různými směšovacími poměry. Okrajové části jsou silně ochuzené. Škrťací klapka je plně otevřená, což snižuje ztráty škrcením. Uzavřená přestavovací klapka v sacím potrubí vyvolává ve válci valivé proudění vzduchu. Proudění posiluje navíc tvar dna pístu. Velký přebytek vzduchu vede k vysoké koncentraci NO<sub>x</sub>. K jejich snížení je nutná zvýšená recirkulace spalin, která snižuje teplotu spalování. Tvorba těchto emisí je závislá na teplotě ve spalovacím prostoru.

Při velmi vysokém točivém momentu vznikají saze jako důsledek místního, vyššího obohacení směsi ve spalovacím prostoru. Vysoké otáčky motoru neumožní tvorbu vrstvení vzhledem k vysoké turbulenci, které při kompresi vzniká. To neumožní soustředění vstřikovaného paliva v oblasti kolem zapalovací svíčky. Výsledkem je i nižší spotřeba paliva. Výkon je regulován změnou vstřikovaného množství paliva. Motor pracuje s velmi chudou směsí  $L = 1,5-3,0$ . Jedná se o kvalitativní regulaci.

#### **4 RECIRKULACE VÝFUKOVÝCH PLYNŮ U VZNĚTOVÝCH MOTORŮ**

Provádí se v oblasti částečného zatížení přimíšením výfukových plynů do nasávaného vzduchu. Tím se zmenšuje koncentrace kyslíku v nasávaném vzduchu. Kromě toho mají výfukové plyny vyšší měrnou teplotní kapacitu než vzduch a podíl vody ve vrácených výfukových plynech snižuje dodatečně teploty spalování. Tyto vlivy snižují teploty spalování a tím podíl NO<sub>x</sub>, kromě toho také zmenšují množství do ovzduší odváděných výfukových plynů, jejichž vratné množství je přesně určeno řídicí jednotkou pohonu. Nadměrné množství zpět přiváděných výfukových plynů by vlivem nedostatku vzduchu vedlo k nárůstu emisí sazí CO a HC. Z toho důvodu vyžaduje řídicí jednotka pohonu zpětné hlášení o množství zpět přiváděných plynů. K tomu slouží dva různé systémy, které se liší následujícími díly:

- snímače polohy v EGR ventilu (u motoru s turbodmychadlem řízeným klapkovým ventilem)
- snímač hmotnosti nasávaného vzduchu (u motoru s variabilním turbodmychadlem)

U obou těchto systémů je ventil EGR aktivován podtlakem od elektromagnetického ventilu EGR. Klíčový poměr, kterým je aktivován elektromagnetický ventil EGR od řídicí jednotky hnacího stroje, přitom určuje podtlak, který dojde k ventilu EGR [1].

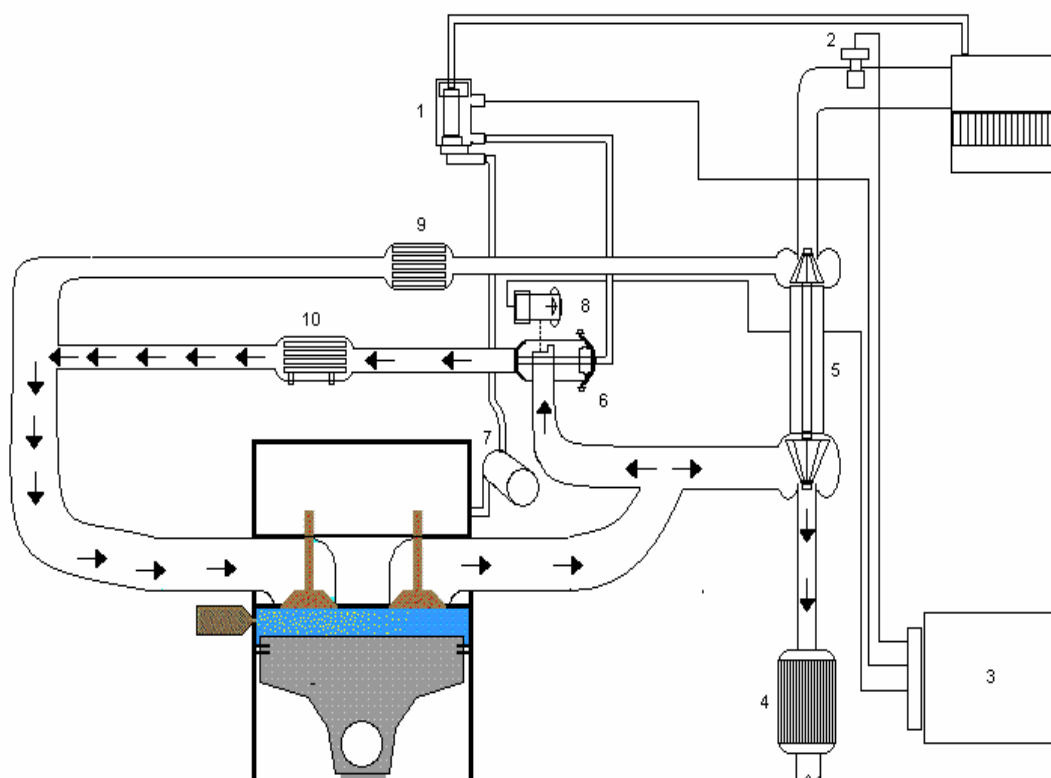
##### **4.1 Systém se snímačem polohy v EGR ventilu**

Snímač polohy v EGR ventilu signalizuje řídicí jednotce pohonu okamžitou polohu EGR ventilu. Z toho může řídicí jednotka pohonu určit okamžité vrácené množství výfukových plynů v závislosti na tlaku v sacím potrubí, čímž se vytváří uzavřený regulační obvod [1].

## 4.2 Systém se snímačem hmotnosti nasávaného vzduchu

Množství výfukových plynů vrácených při otevření EGR ventilu přímo ovlivňuje naměřenou hodnotu snímače hmotnosti nasávaného vzduchu. Během recirkulace výfukových plynů odpovídá redukovaná hmotnost vzduchu, změřena snímačem hmotnosti vzduchu, přesně hodnotě vrácených výfukových plynů. Pokud je vratné množství výfukových plynů příliš velké, poklesne nasávaná hmotnost vzduchu na určitou mezní hodnotu. Řídící jednotka pohonu snižuje potom podíl vrácených výfukových plynů, jímž se vytváří uzavřený regulační obvod [1].

## 4.3 Systém recirkulace výfukových plynů u vznětových přeplňovaných motorů



Obr. 5 Schéma systému recirkulace výfukových plynů používaného u přeplňovaných motorů

Legenda:

- 1- elektromagnetický ventil recirkulace výfukových plynů (EGR)
- 2- snímač hmotnosti vzduchu (pouze u variabilního turbodmychadla)
- 3- řídicí jednotka motoru
- 4- dvoucestný (dvousložkový) katalyzátor
- 5- turbodmychadlo
- 6- elektromagnetický ventil recirkulace spalin
- 7- vakuové čerpadlo
- 8- snímač polohy v EGR ventilu (pouze u turbodmychadla se stálou geometrií turbíny)
- 9- chladič plnicího vzduchu
- 10- chladič EGR

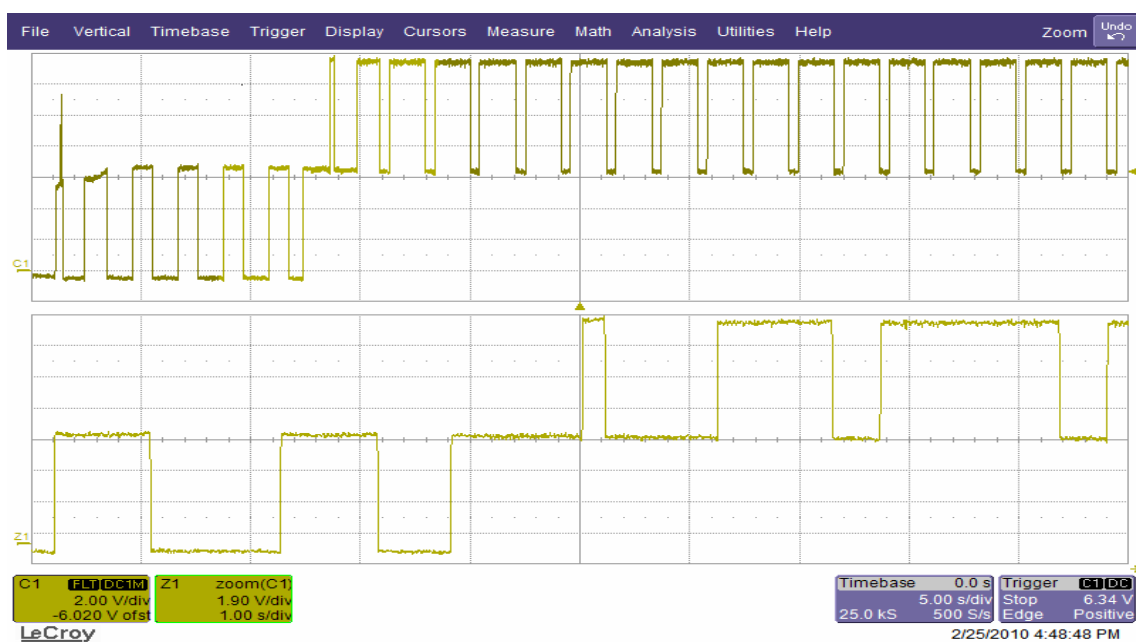


## 5 PRAKTICKÁ MĚŘENÍ

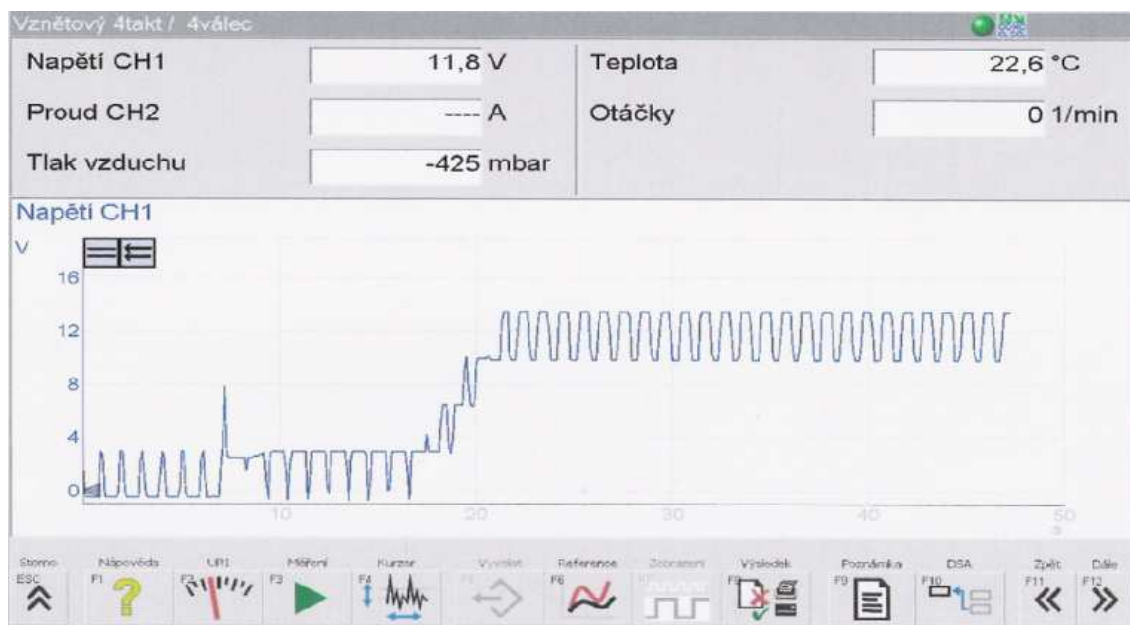
### 5.1 Měření systému EGR vznětového motoru Škoda Superb 1.9 TDi PD 96kW motor AWX

#### 5.1.1 Měření při volnoběžných otáčkách

Na průběhu můžeme vidět, že po nastartování vozidla se systém EGR z uzavřené polohy pomalu (vidíme na změně střídý) dostává do polohy otevřené. Toto trvá 20–25s. Poté zůstává EGR otevřený 2 minuty a pak se opět uzavírá.



Obr. 6 Průběh otevření EGR ventilu (volnoběžné otáčky) při minimální zatížení motoru vozidla měřený osciloskopem LeCroy



Obr. 7 Průběh otevření EGR ventilu (střední hodnota) měřený diagnostickým zařízením BOSCH FSA 740

Hodnoty změřeny za pomoci diagnostického zařízení KTS 540:

Po nastartování:

1) otáčky motoru	819 ot/min
2) Střída recirkulace výfukových plynů	59 %
3) Požadovaná hmotnost vzduchu	250 mg/z
4) Aktuální hmotnost vzduchu	245 mg/z

Po 2 minutách běžícího motoru:

1) otáčky motoru	819–840 ot/min
2) Střída recirkulace výfukových plynů	4 %
3) Požadovaná hmotnost vzduchu	250 mg/z
4) Aktuální hmotnost vzduchu	401 mg/z

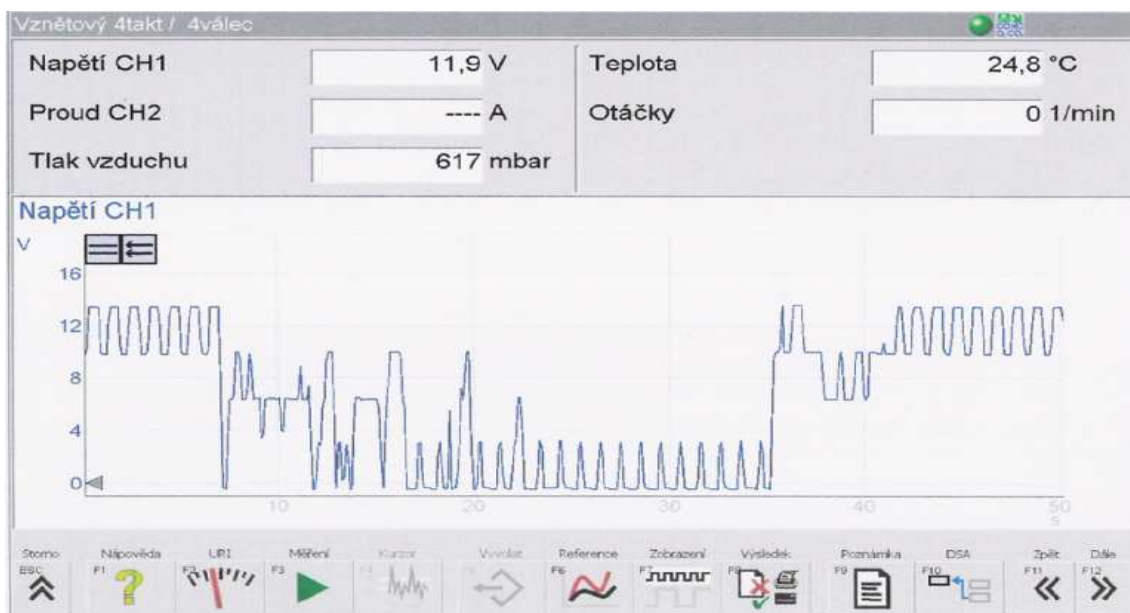
Při porovnání můžeme zpozorovat uzavření ventilu EGR a to doprovází navýšení aktuální hmotnosti vzduchu.

### 5.1.2 Měření při akceleraci

Následující série měření byla provedena při záběru akcelerace. Byla nastavená hodnota tažné síly válcové stolice  $F = 1000 \text{ N}$ . Na průběhu můžeme vidět, jak pracuje EGR při akceleraci. Na vyznačeném místě lze vidět průběh funkce EGR při přecházení rychlostních stupňů. Lze usoudit, že EGR pracuje velmi dynamicky, uzavírá se i během přecházení rychlostního stupně tak, aby nedocházelo ke ztrátě výkonu. Při plné akceleraci se EGR uzavírá úplně, aby motor mohl dosáhnout maximálního výkonu. Dále vidíme už jen akceleraci a opět volnoběh.

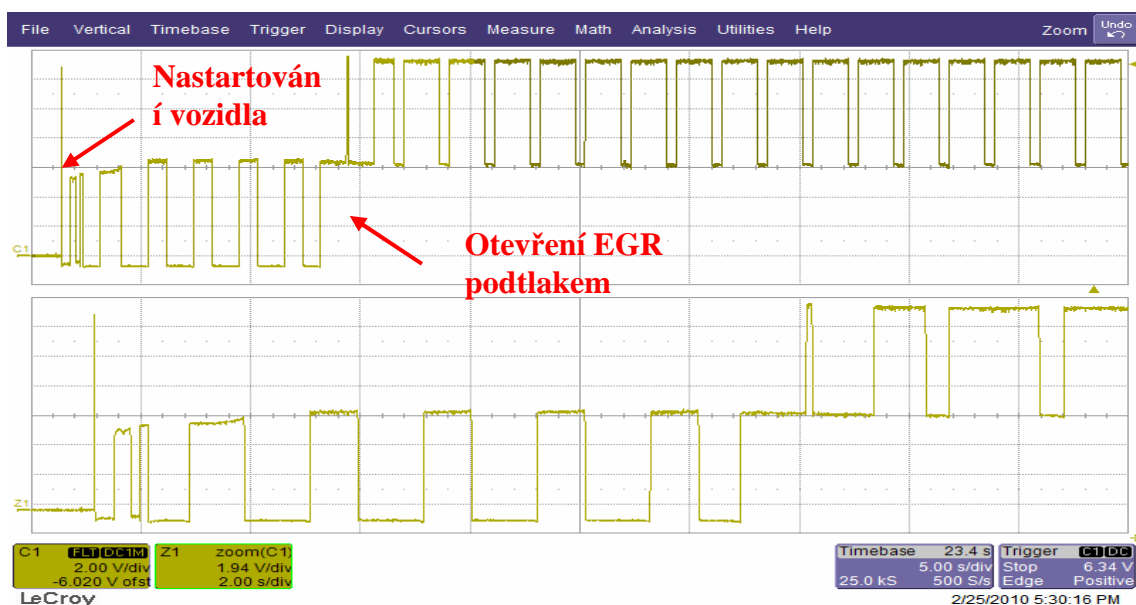


Obr. 8 Průběh otevírání EGR při akceleraci, LeCroy

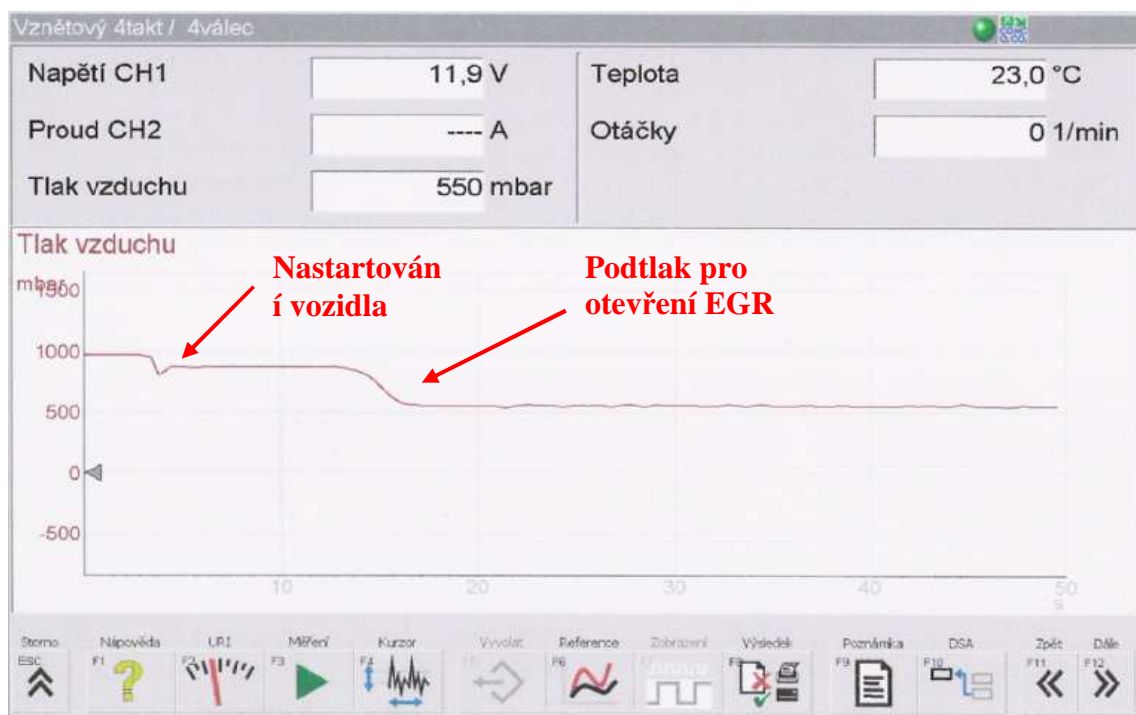


Obr. 9 Průběh otevírání EGR při akceleraci, (na diagnostickém zařízení BOSCH FSA 740)

### 5.1.3 Měření řídicího tlaku vzduchu



Obr. 10 Průběh otevření systému EGR podtlakem za pomoci elektromagnetického měniče tlaku



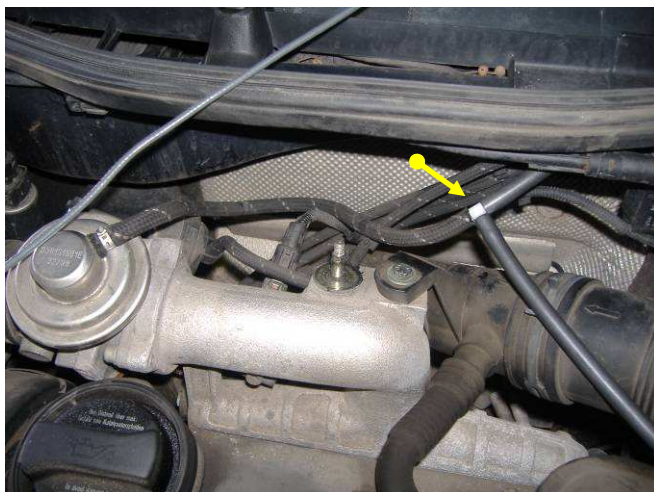
Obr. 11 Průběh otevření systému EGR podtlakem, diagnostické zařízení BOSCH FSA 740

## 5.2 Měření systému EGR vznětového motoru Škoda Octavia 1.9 TDi 66kW

### 5.2.1 Fotodokumentace jednotlivých měřících bodů systému ERG



Obr. 12 Propojení ERG systému s diagnostickým zařízením BOSCH FSA 740 a současně s osciloskopem LeCroy



Detail napojení na podtlakovou hadičku mechanického ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů pomocí „tečkového“ nástavce (vyznačeno na obrázku).

Obr. 13 Napojení na měřený systém



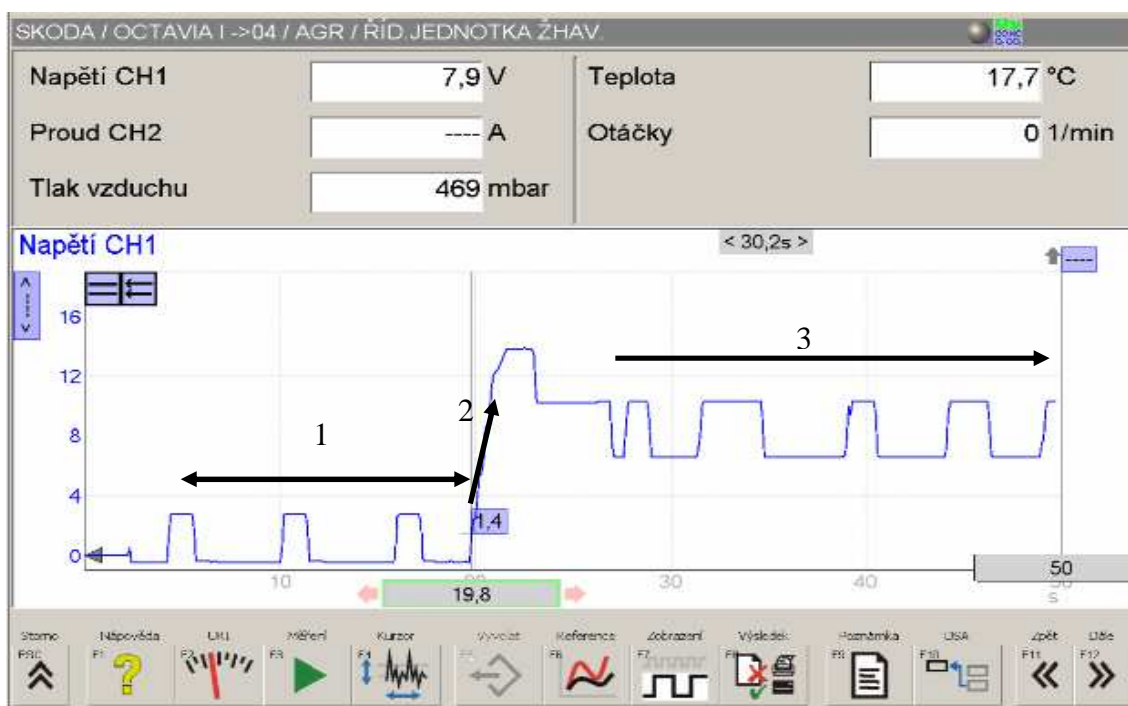
Detail napojení na elektrické vedení elektromagnetického ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů. Napojení jsme provedli pomocí „propichovacích klipsen“, který lze vidět na vyznačeném místě.



Obr. 14 Napojení na měřný systém

### 5.2.2 Měření při volnoběžných otáčkách

Na zobrazeném průběhu (na diagnostické zařízení BOSCH FSA 740) můžeme vidět zapnutí palubní sítě (otočení klíčkem do polohy II), už v tomto stavu se na elektromagnetický ventil zpětného vedení výfukových plynů přivádí signál o hodnotě napětí 2,5V. Dále probíhá nastartování vozidla a volnoběžné otáčky.

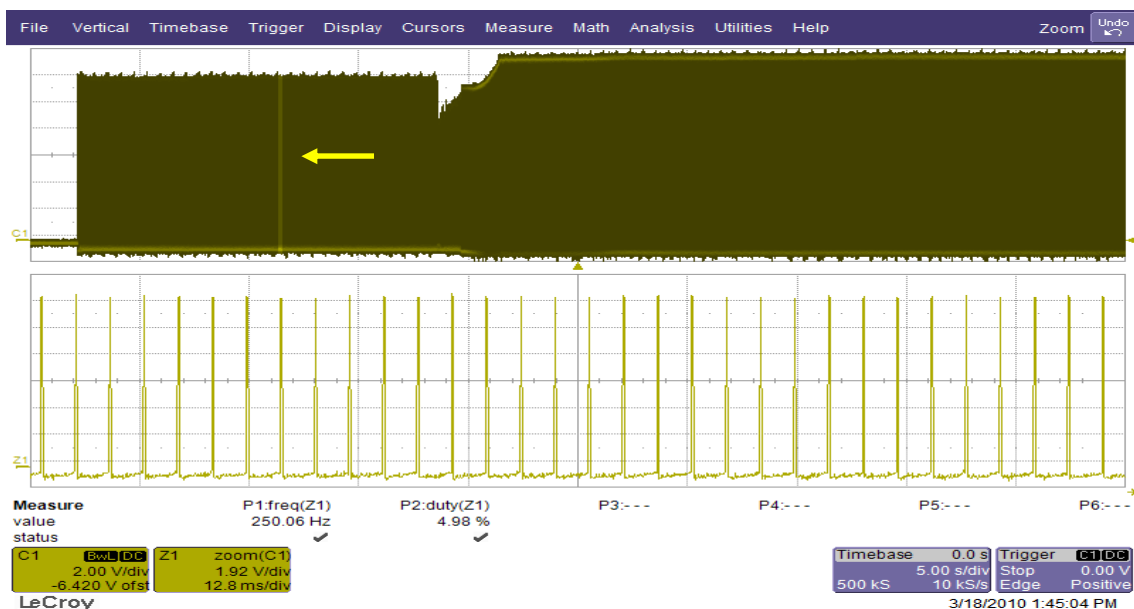


Obr. 15 Měření ERG- volnoběžné otáčky

Legenda:

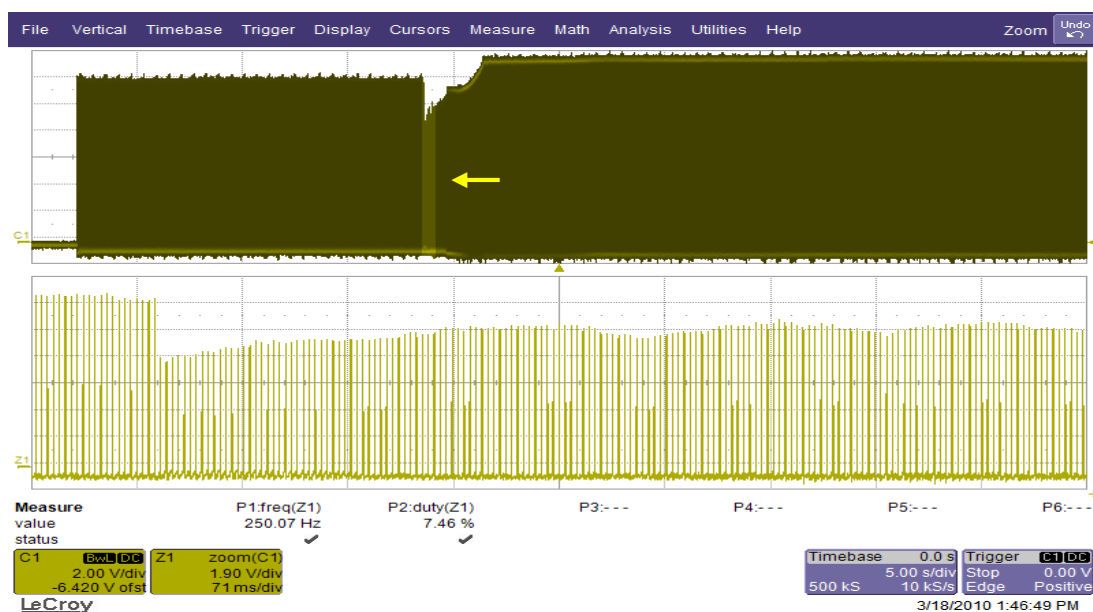
- 1- zapnutí spínačky do polohy II
- 2- nastartování vozidla
- 3- volnoběžné otáčky

Na následujícím průběhu vidíme průběh předchozího měření zachycený osciloskopem LeCroy. Střída signálu ukazuje, kdy je elektromagnetický ventil pro zpětné vedení výfukových plynů zavřený nebo otevřený. Střída signálu v tomto případě ukazuje 4,98%, což znamená, že ventil je uzavřen (spínačka v poloze II).



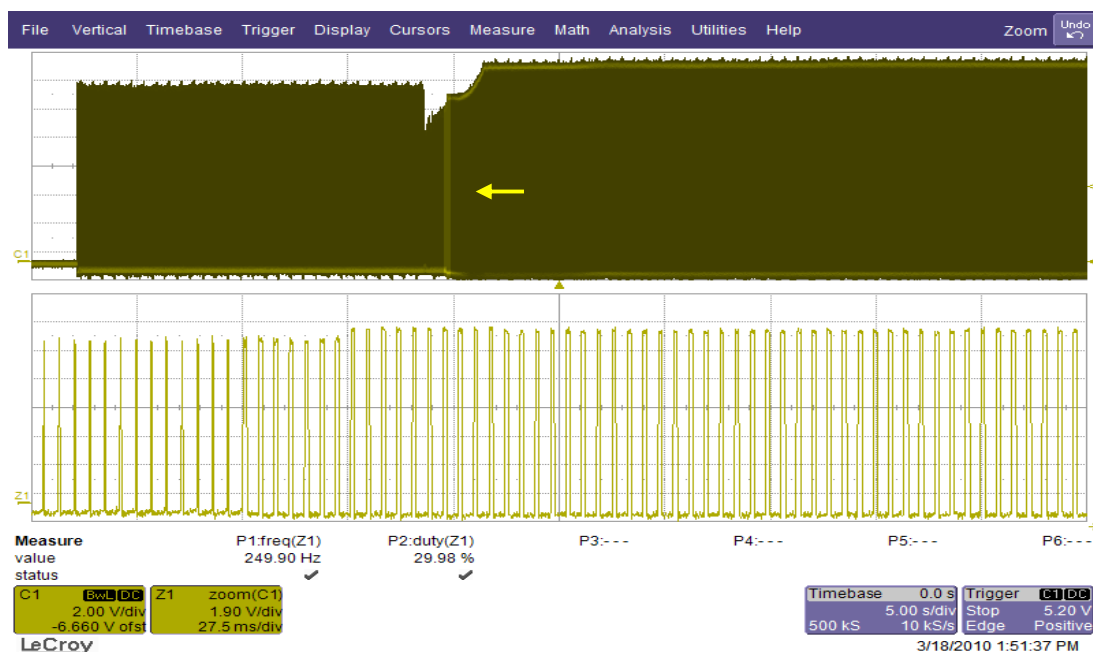
Obr. 16 Měření ERG- volnoběžné otáčky, LeCroy

V tomto průběhu je střída 7,46%, což znamená, že je stále ještě uzavřen.



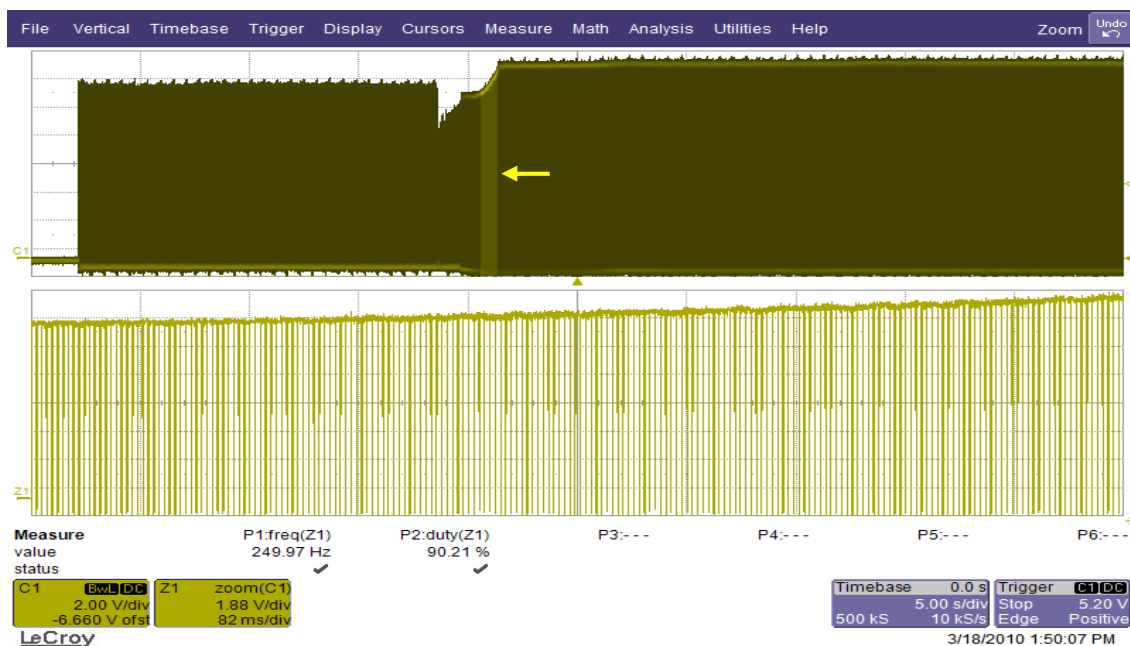
Obr. 17 Měření ERG- změna střídání signálu při startování motoru

Střída signálu se při startování pomalu zvětšuje. Na tomto průběhu je střída 29,98%, což signalizuje pomalé otevírání ventilu.



Obr. 18 Měření ERG- změna střídý signálu při průběhu startování motoru

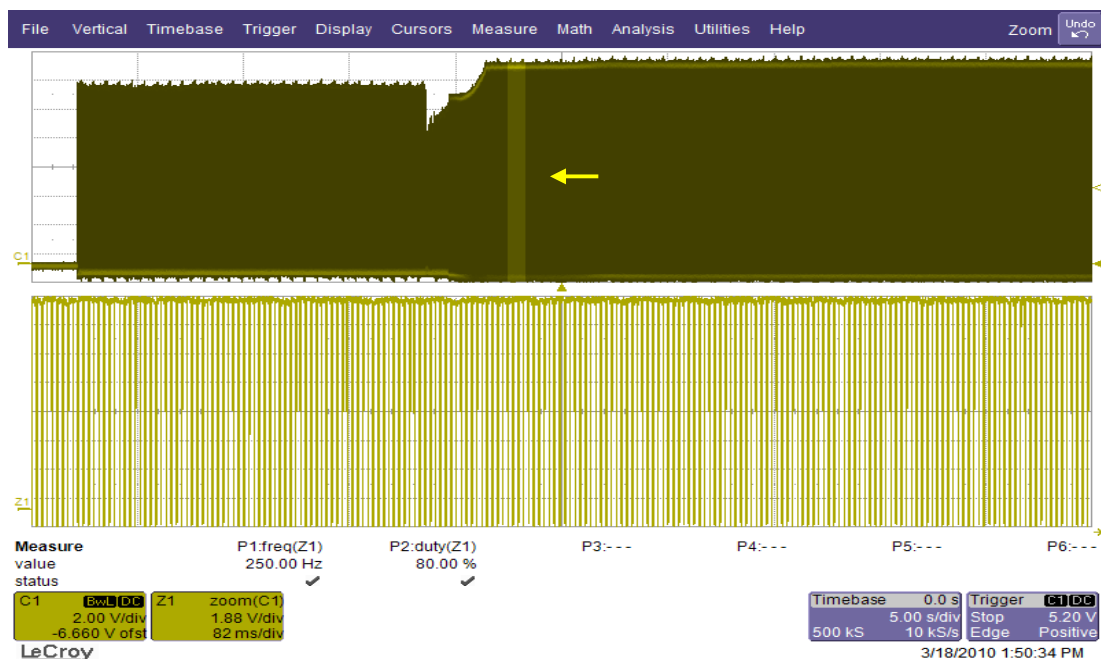
Po skončení startování se elektromagnetický ventil pro zpětné vedení výfukových plynů plně otevřel. Můžeme vidět, že střída je nyní 90,21% .



Obr. 19 Měření ERG- střída signálu po dokončení nastartování



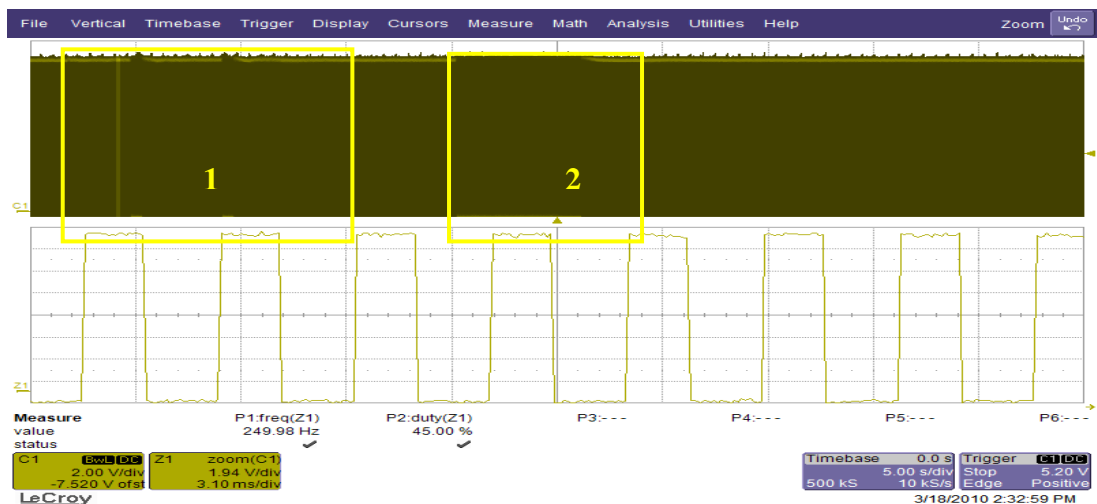
Na tomto průběhu (při opětovném dosažení volnoběžných otáček) můžeme vidět, že opět dochází ke zmenšení střídý (na průběhu je střída nyní 80%), což znamená pozvolné uzavření ventilu. Střída se postupně zmenší až na hodnotu kolem 55–60%. Lze tedy usuzovat, že při volnoběhu je elektromagnetický ventil otevřen „zhruba“ na polovinu svého maxima.



Obr. 20 Měření ERG- zmenšování střídý signálu

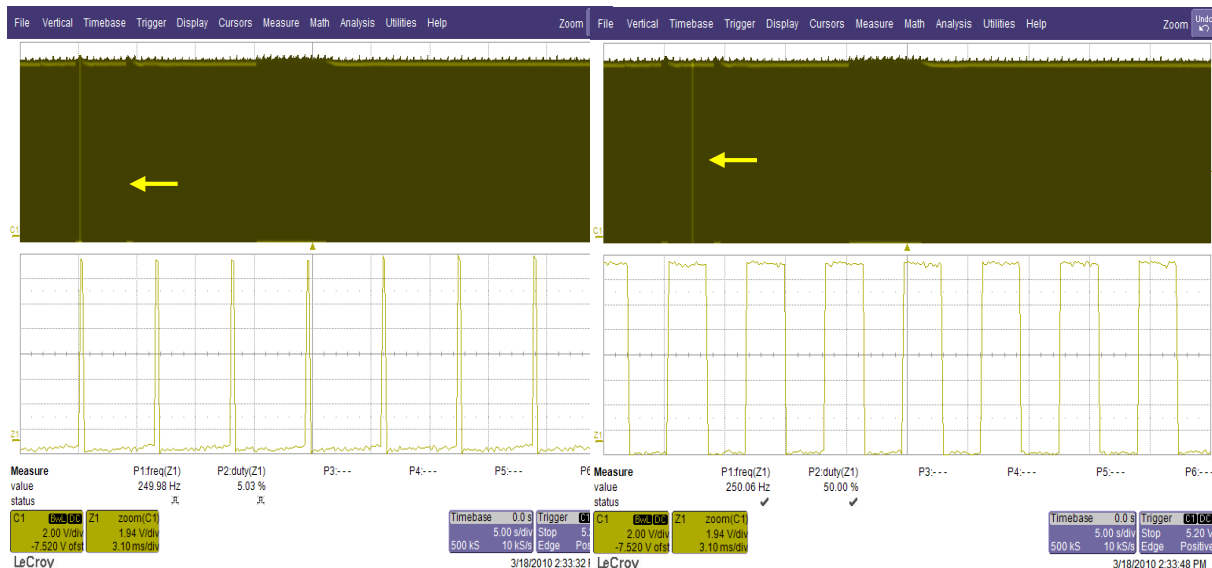
### 5.2.3 Měření při akceleraci

Nyní přejdeme k popisu chování elektromagnetického ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů při akceleraci. V prvním označeném místě dochází k pozvolnému zrychlování a řazení rychlostních stupňů. Dále můžeme vidět, že střída při pozvolném zrychlování je 45%. V druhém označeném místě dochází k plnému sešlápnutí akceleračního pedálu a tedy k plnému zatížení motoru vozidla. Chování střídý signálu při těchto dějích bude podrobněji zobrazeno na dalších obrázcích.



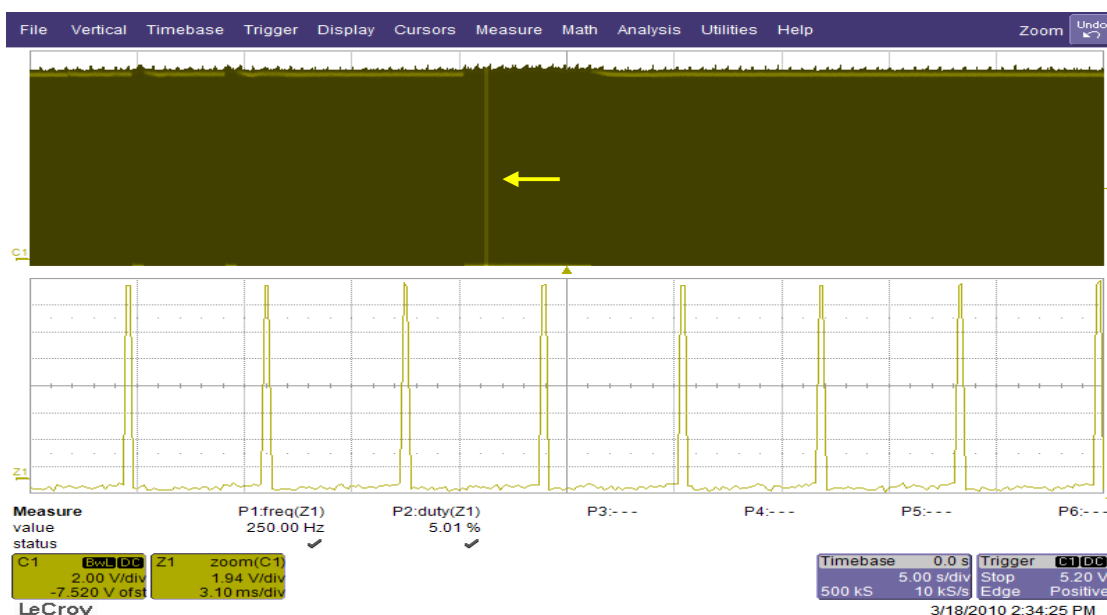
Obr. 21 Střída signálu při přeřazování a zrychlování

Na následujících průbězích vidíme, jak se mění střída při řazeních rychlostních stupňů. Při přeřazení dochází k zmenšení střídy na 5%, při puštění spojky a pozvolném zrychlování se střída opět zvětší na 50%, z čehož vyplývá, že při přeřazení dojde k uzavření ventilu a při pozvolném zrychlování (zatížení motoru) se ventil otevře na polovinu svého maximálního otevření.



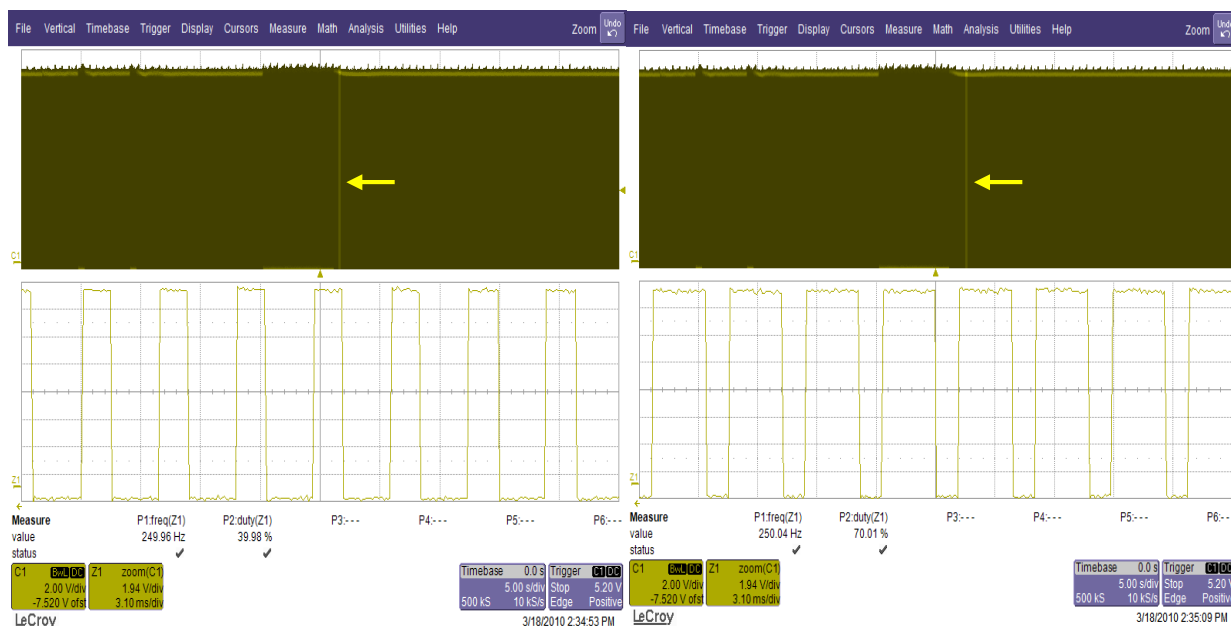
Obr. 22 Měření ERG- chování střídy signálu při přeřazování rychlostních stupňů

Zde na průběhu můžeme vidět plné zatížení motoru vozidla způsobenou sešlápnutím akceleračního pedálu. Vidíme následné zmenšení střídy na 5%, což nám říká, že dochází k uzavření ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů.



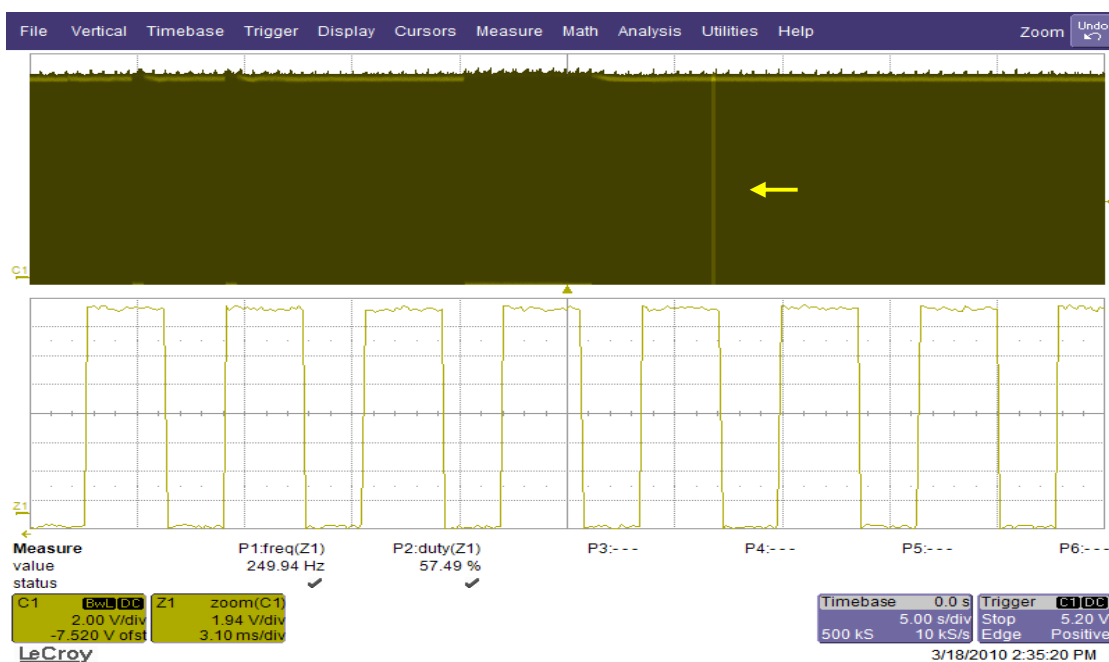
Obr. 23 Měření ERG- chování střídy signálu při akceleraci

Na těchto průbězích vidíme skončení plné (zatížení motoru) akcelerace a následnou začínající deceleraci. Střída se postupně zvětšuje a dostane až na 70%, což odpovídá téměř plnému otevření elektromagnetického ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů.



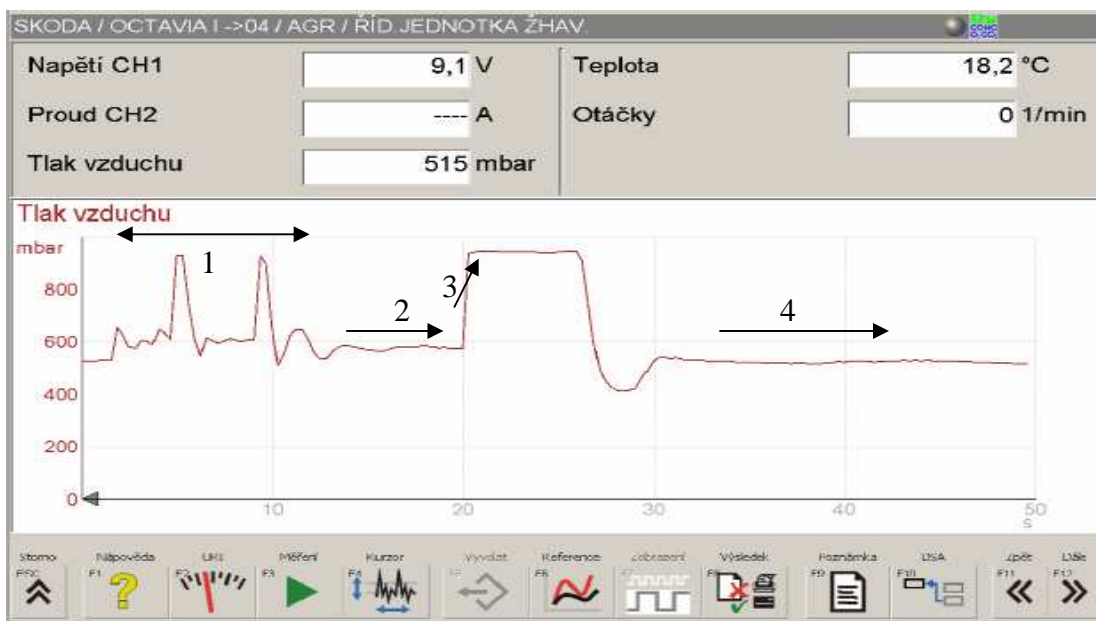
Obr. 24 Měření ERG- skončení akcelrace a začínající decelerace

Uvedení vozidla do volnoběhu; střída se opět ustálí na hodnotě 55–60%. Elektromagnetický ventil je tedy otevřený přibližně na polovinu svého maximálního otevření.



Obr. 25 Měření ERG- uvedení do volnoběžných otáček

Tento průběh odpovídá všem předešlým vysvětlovaným průběhům, měření tentokrát probíhalo ze strany řízení podtlaku. Můžeme vidět, že při přecházení rychlostních stupňů a také při plné akceleraci dochází k poklesu podtlaku (téměř na atmosférický tlak). Z průběhu lze tedy usoudit, že na mechanický ventil působí neustále podtlak.



Obr. 26 Průběh řízení podtlaku ve všech režimech jízdy

Legenda:

- 1- řazení rychlostních stupňů
- 2- udržování konstantní rychlosti
- 3- prudká akcelerace (plné zatížení motoru vozidla)
- 4- volnoběžné otáčky

### 5.3 Měření systému EGR zážehového motoru Škoda Fabia 1.2 HTP 12V 47kW

Na tomto snímku (obr. 27) můžeme vidět (po demontáži vzduchového filtru) motor a následnou snahu o demontování škrticí klapky pro zpětné vedení výfukových plynů. Demontáž této škrticí klapky nebyla nijak složitá, stačilo pouze povolit čtyři šrouby s hvězdicovitými hlavičkami.



*Obr. 27 Demontáž škrticí klapky pro zpětné vedení výfukových plynů*

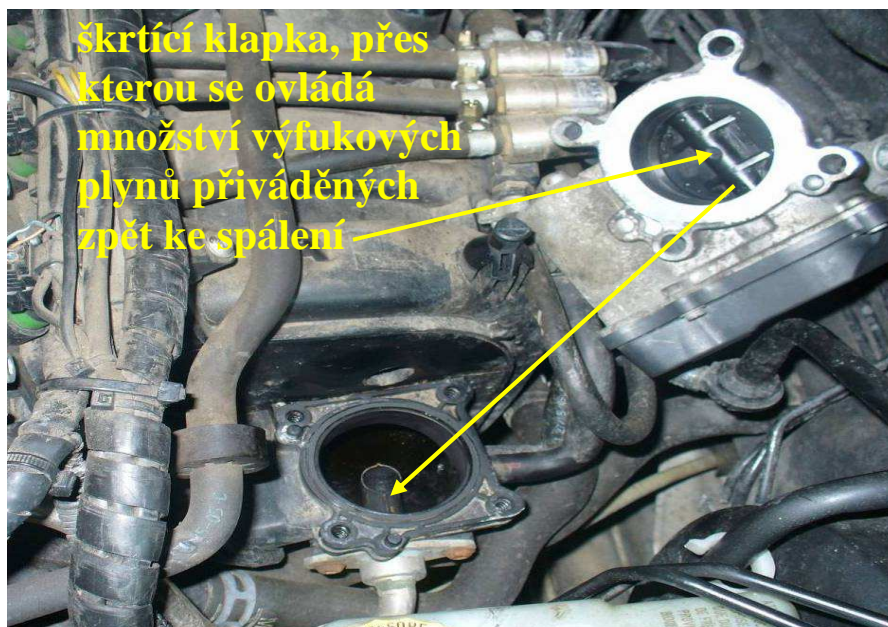
Na tomto snímku lze vidět přesněji systém recirkulace výfukového vedení. Na EGR ventil vidíme připojený bílý konektor, přes který je elektricky ovládán řídicí jednotkou. Na druhé straně vidíme demontovanou škrticí klapku, kam se přivádějí zpětně recirkulované výfukové plyny, které se následně mísí s nasávaným vzduchem.



*Obr. 28 Pohled na jednotlivé komponenty systému ERG Škody Fabie 1.2 http*



Zde můžeme vidět blíže demontovanou škrťací klapku, přes kterou se ovládá pomocí řídicí jednotky množství nasávaného vzduchu. Toto zpětné potrubí a spodní část škrťací klapky bývá mnohdy hlavním problémem poruchy nebo vyhlášením chyby vyhodnocující řídicí jednotkou. Problém spočívá v zanesení těchto částí nečistotami z výfuku. Řešení je mnohdy snadné a to rozebrání a vyčištění od PM usazenin (karbonu).



*Obr. 29 Detail demontované škrťací klapky systému ERG Škody Fabie 1.2 HTP*

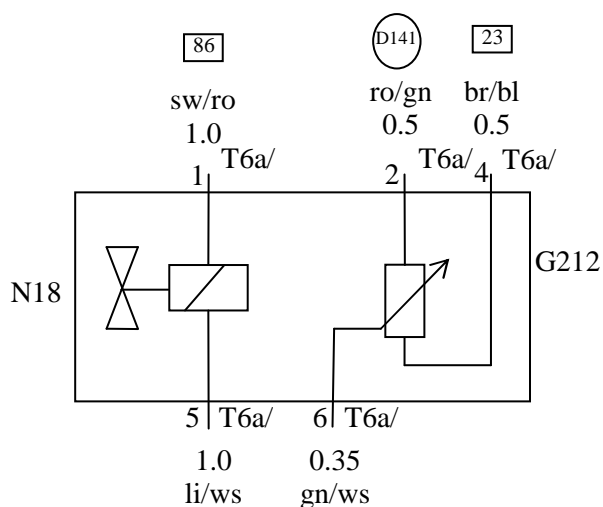
**Po montáži zpět do vozidla přijde na škrťací klapku nasadit vzduchový filtr**

**Konektor pro ovládání řídicí jednotkou**



*Obr. 30 Detail škrťací klapky měřeného motoru*

### 5.3.1 Elektrické schéma zapojení elektromagnetického ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů a postup měření



#### Legenda:

G212 - potenciometr zpětného vedení výfukových plynů

N18 - elektromagnetický ventil pro zpětné vedení výfukových plynů

T6a/ - svorkovnice, 6-pólová, na elektromagnetickém ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů

D141 - propojení (5V), v propojovacím svazku motoru

ws = bílá

sw = černá

ro = červená

br = hnědá

gn = zelená

bl = modrá

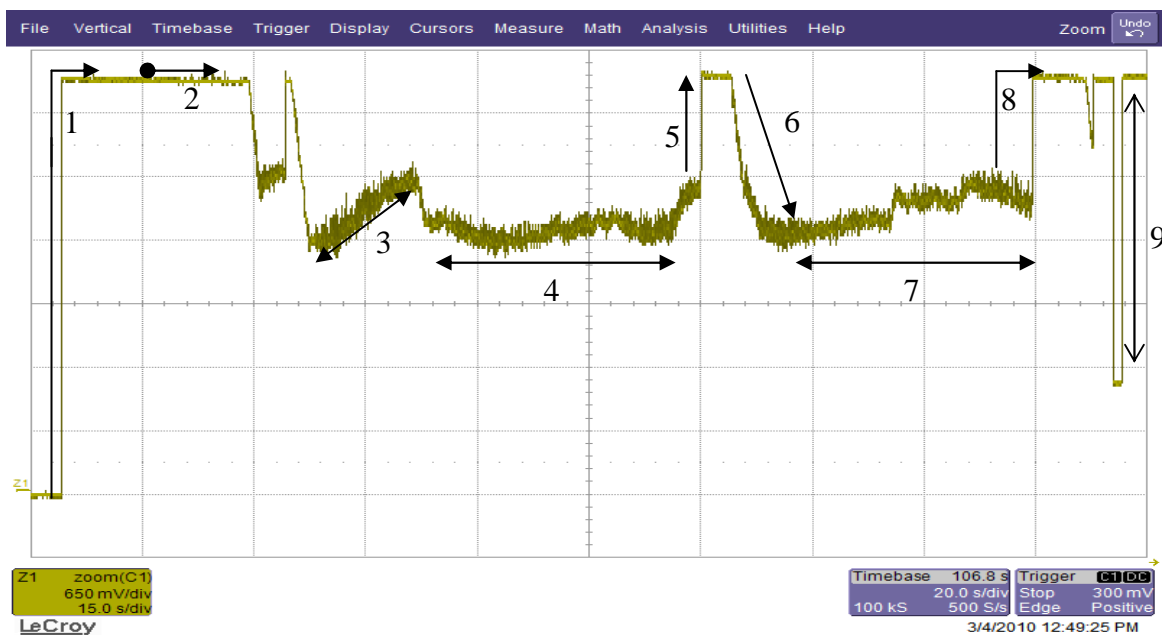
li = fialová

Měřením zjistíme, že na pinech 2 a 4 je po otočení klíčku zapalování do polohy II trvale přivedeno napětí 5 V, na pin 2 je přivedeno kladné napětí a na pin 4 je přivedeno záporné napětí. Odpor mezi těmito piny je (0,698 kΩ). Odpor mezi piny 1 a 5 byl naměřen 8,9 Ω, správná hodnota by měla být 8 Ω ±0,5 Ω při teplotě 20 °C, odchylka od měření mohla být způsobena teplotou.

Řízení EGR ventilu při tomto zážehovém motoru probíhá formou plynulého řízení amplitudy. Z měření můžeme usoudit, že EGR ventil není tak často v činnosti jako u vznětových motorů. Dá se říct, že je „řízen“ akceleračním pedálem a to tak, že při mírné akceleraci (zatížení motoru) dochází k částečnému otevření EGR ventilu, (toto otevření dosahuje zhruba poloviny své maximální hodnoty otevření). Při plné akceleraci (zatížení motoru) dochází v jakémkoliv stavu k úplnému zavření EGR ventilu. Po konci každého akcelarování dochází k plnému otevření EGR ventilu a to vždy při stejné časové vzdálenosti a velikosti napětí.

K měření průběhu na potenciometru a motorku otevírající EGR ventil bylo použito diagnostické zařízení BOSCH FSA 740 a osciloskop LeCroy.

### 5.3.2 Měření průběhu na potenciometru, otevírání ERG ventilu



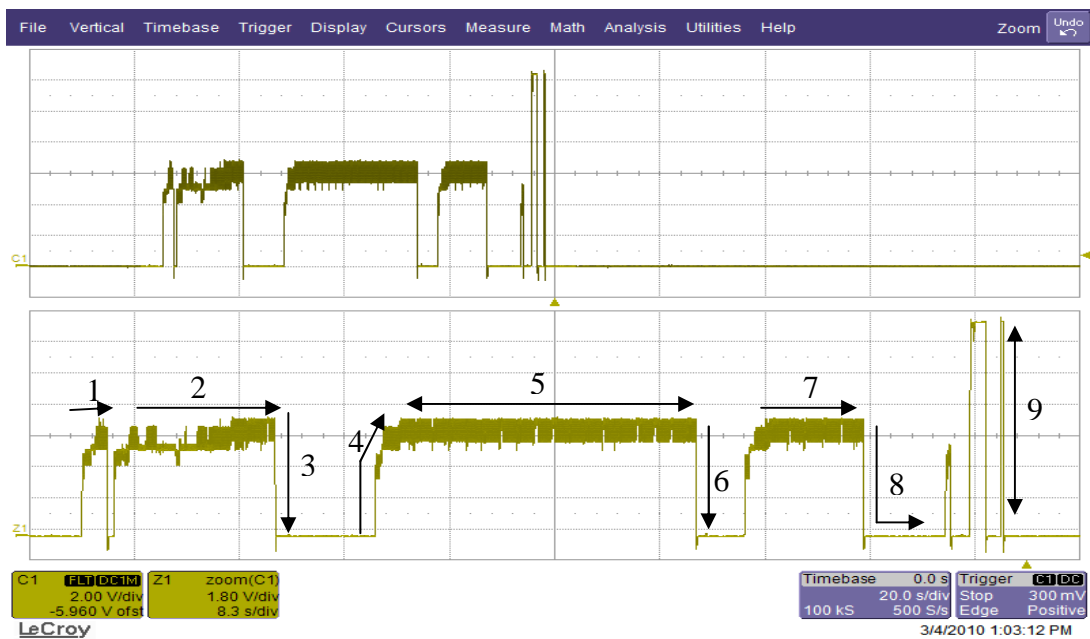
Obr. 31 Otevírání ERG ventilu, LeCroy

#### Legenda:

- 1- skok z nulové hodnoty na úroveň 4,2V po zapnutí zapalování a následný start motoru
- 2- rozjezd vozidla
- 3- mírná „střední“ akcelerace (zatížení motoru vozidla)
- 4- udržování konstantní rychlosti plynovým pedálem
- 5- prudká akcelerace plynovým pedálem (dochází k okamžitému zavření EGR ventilu)
- 6- mírné ubrání plynového pedálu
- 7- udržování konstantní rychlosti plynovým pedálem
- 8- volnoběh (minimální zatížení motoru)
- 9- plné otevření EGR ventilu, nastane vždy a při stejné velikosti po ukončení akcelerace, tzv. „profouknutí“ (pročištění) EGR ventilu







Obr. 33 Průběh napětí při otevírání motorku ERG ventilu

Legenda:

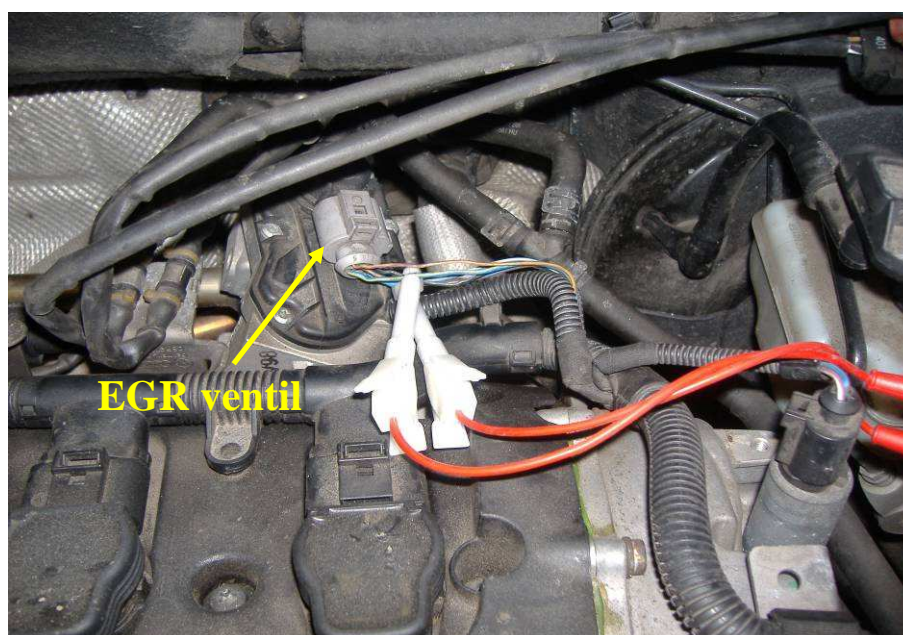
- 1- nastartování vozidla
- 2- přecházení rychlostního stupně
- 3- prudká akcelerace plynovým pedálem (plné zatížení motoru)
- 4- mírné ubrání plynového pedálu
- 5- udržování konstantní rychlosti plynovým pedálem
- 6- prudká akcelerace plynovým pedálem (plné zatížení motoru)
- 7- mírné ubrání plynového pedálu
- 8- volnoběh (minimální zatížení motoru)
- 9- plné otevření EGR ventilu, nastane vždy a při stejné velikosti po ukončení akcelerace, „profouknutí“ (pročištění) EGR ventilu

#### 5.4 Měření systému EGR zážehového motoru Škoda Octavia 2.0 FSI 110 kW typ motoru BLX



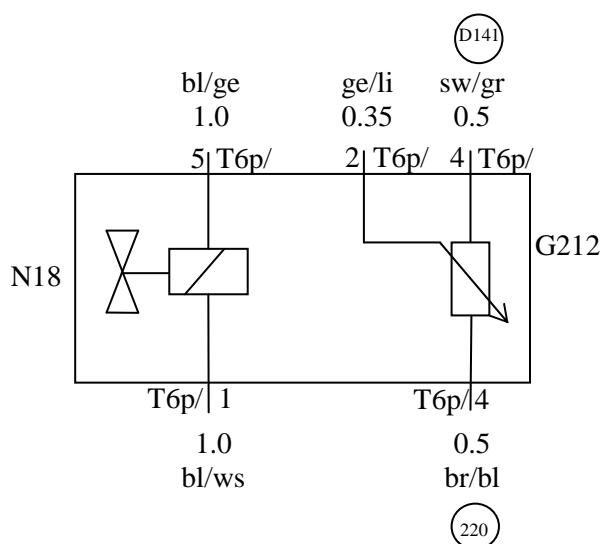
*Obr. 34 Napojení elektromagnetického ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů na diagnostické zařízení BOSCH FSA 740 a osciloskop značky LeCroy*

Bližší pohled na připojení na vodiče konektoru pro zpětné vedení výfukových plynů. Pro měření na potenciometru zpětného vedení výfukových plynů se napojíme na vodiče pod číslem 2 a 6 (černo/šedý(2) a žluto/fialový(6)). Dále jsme měřili elektromagnetický ventil pro zpětné vedení výfukových plynů. Tento ventil napojíme přehozením měřících klipsen na čísla 1 (modro/bílý) a 5 (modro/žlutý).



*Obr. 35 Detailní pohled*

#### 5.4.1 Elektrické schéma zapojení elektromagnetického ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů



Legenda:

G212 - potenciometr zpětného vedení výfukových plynů

N18 - elektromagnetický ventil pro zpětné vedení výfukových plynů

T6p/ - svorkovnice, 6-pólová, na elektromagnetickém ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů

D141 - propojení (5V), v propojovacím svazku motoru

220 - ukostření (snímače), v propojovacím svazku motoru

ws = bílá

sw = černá

ro = červená

br = hnědá

gn = zelená

bl = modrá

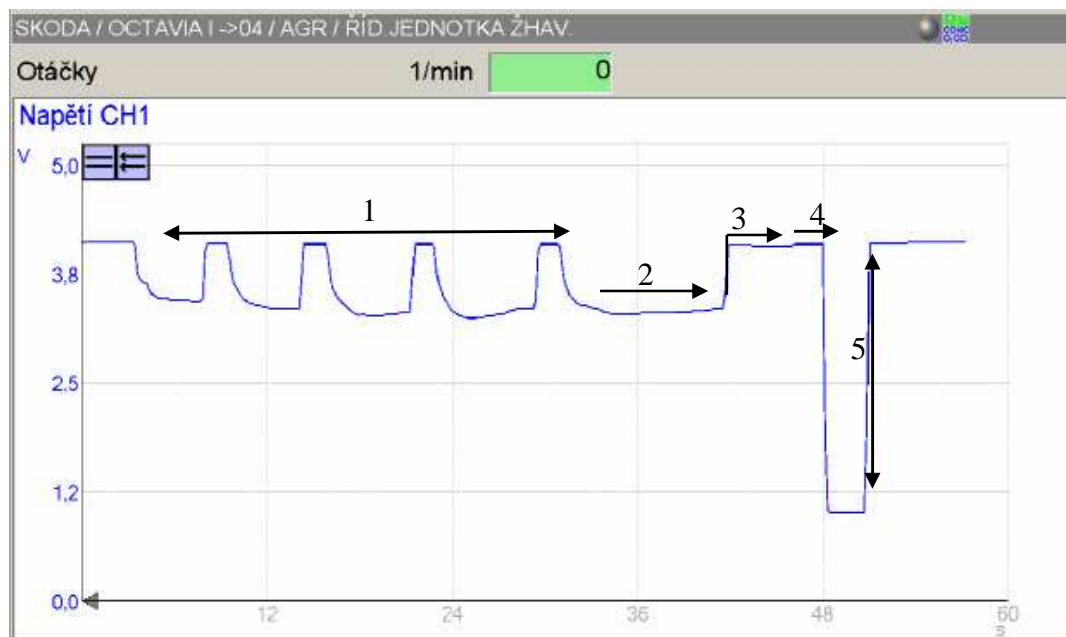
gr = šedá

li = fialová

ge = žlutá

#### 5.4.2 Měření potenciometru pro zpětné vedení výfukových plynů

Odpor na potenciometru zjistíme pomocí propichovacích klipsen a měřícího přístroje (multimetru) napojením se na vodiče 2 a 4. Naměřený odpor na tomto potenciometru je 1 k $\Omega$ . Z průběhu můžeme vyčíst, že EGR ventil je zavřený při hodnotě 4,1 V a plně otevřen při hodnotě 1 V. Dále můžeme vyčíst, že EGR ventil pracuje velmi dynamicky a spojitě. Průběh by měl začínat z nulové hodnoty, ale do této nulové hodnoty se signál dostane, až když vozidlo přejde do tzv. "spacího" režimu, což nastane asi za 50 minut po vypnutí vozidla. Při měření zjistíme, že plné otevření EGR ventilu (na obrázku označeno číslicí 5) nastane při deceleraci v rozmezí 3tis. až 2tis. otáček.



Obr. 36 Průběh napětí na potenciometru ERG systému ve všech režimech jízdy

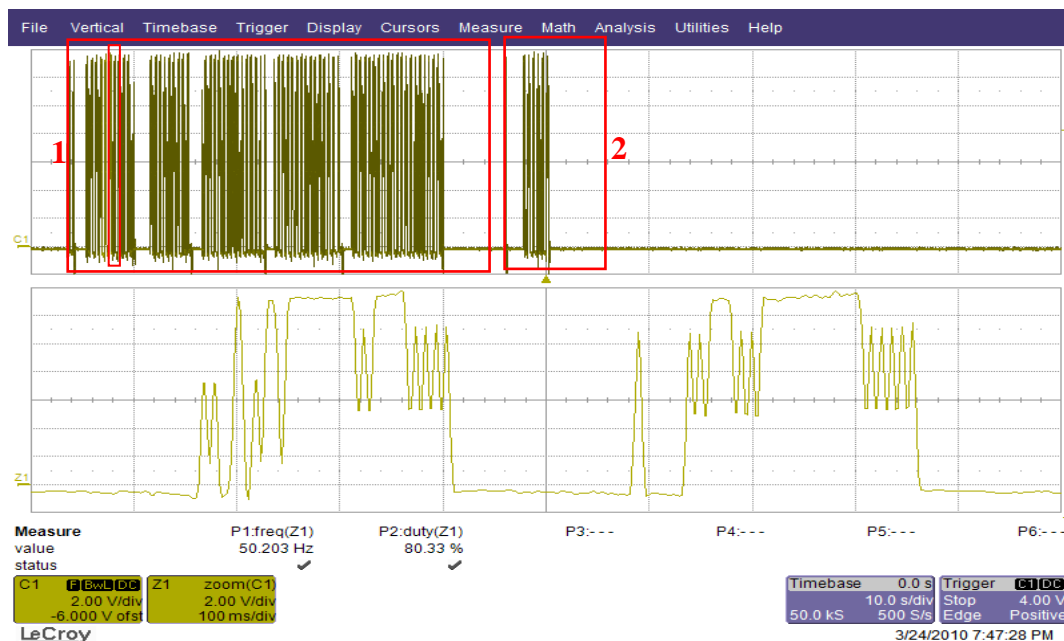
Legenda:

- 1- řazení rychlostních stupňů (1 až 5)
- 2- udržování konstantní rychlosti
- 3- prudká akcelerace (plné zatížení motoru)
- 4- decelerace
- 5- plné otevření EGR ventilu, nastane vždy a při stejné velikosti po ukončení akcelerace, tzv. „profouknutí (pročištění) EGR ventilu“

#### 5.4.3 Měření elektromagnetického ventilu pro zpětné vedení výfukových plynů

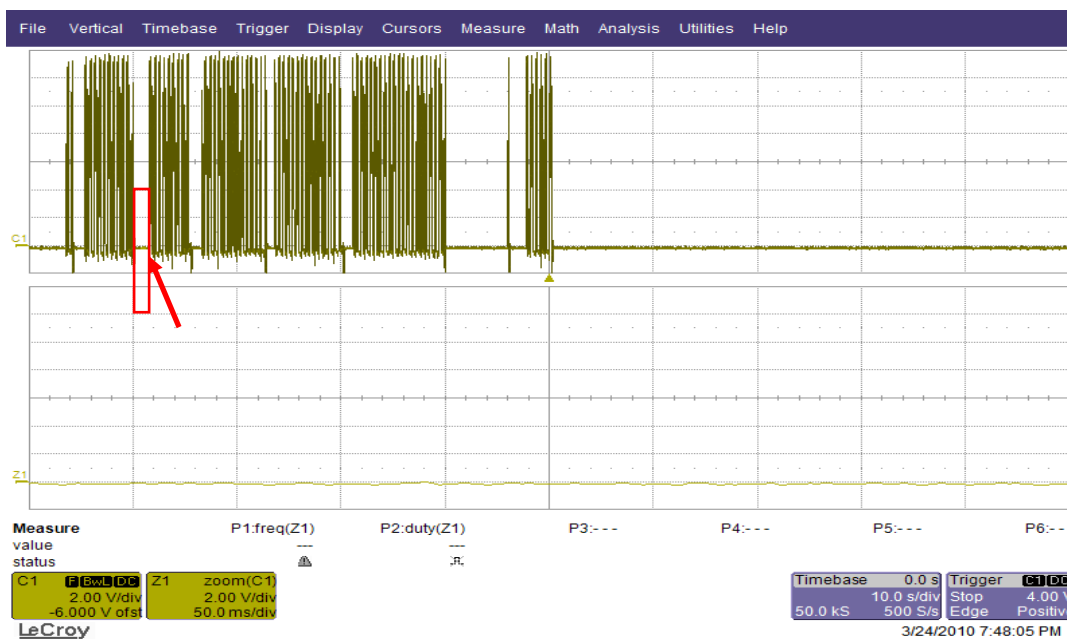
Odpor na elektromagnetickém ventilu zjistíme obdobným způsobem jako v předchozím případě, ale nyní napojíme sondy multimetru na vodiče 1 a 5. Na elektromagnetickém ventilu je naměřený odpor 7,6  $\Omega$ . Tažná síla válcové stolice je nastavena na hodnotu  $F = 1200 \text{ N}$ .

Na tomto průběhu vidíme řazení rychlostních stupňů (označená na obrázku číslicí 1) a následné maximální otevření EGR ventilu (označené číslicí 2). EGR ventil pracuje opět velmi dynamicky. Na detailním snímku průběhu vidíme, že i při mírném zatížení motoru vozidla dochází k otevírání a zavírání EGR ventilu.



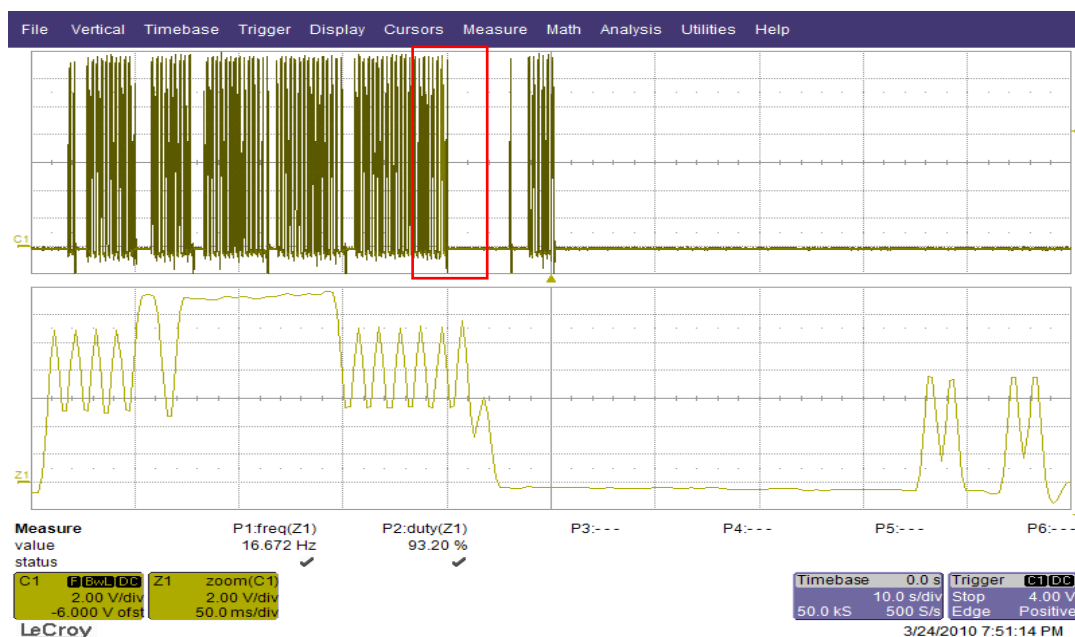
Obr. 37 Průběh napětí na elektromagnetickém ventilu systému ERG při všech režimech jízdy

Na zaznačeném místě průběhu můžeme vidět úplné zavření EGR ventilu (doba sešlápnutí spojky) při přeřazení rychlostního stupně. Jak lze vidět, takto se to opakuje při každém přeřazení rychlostního stupně.



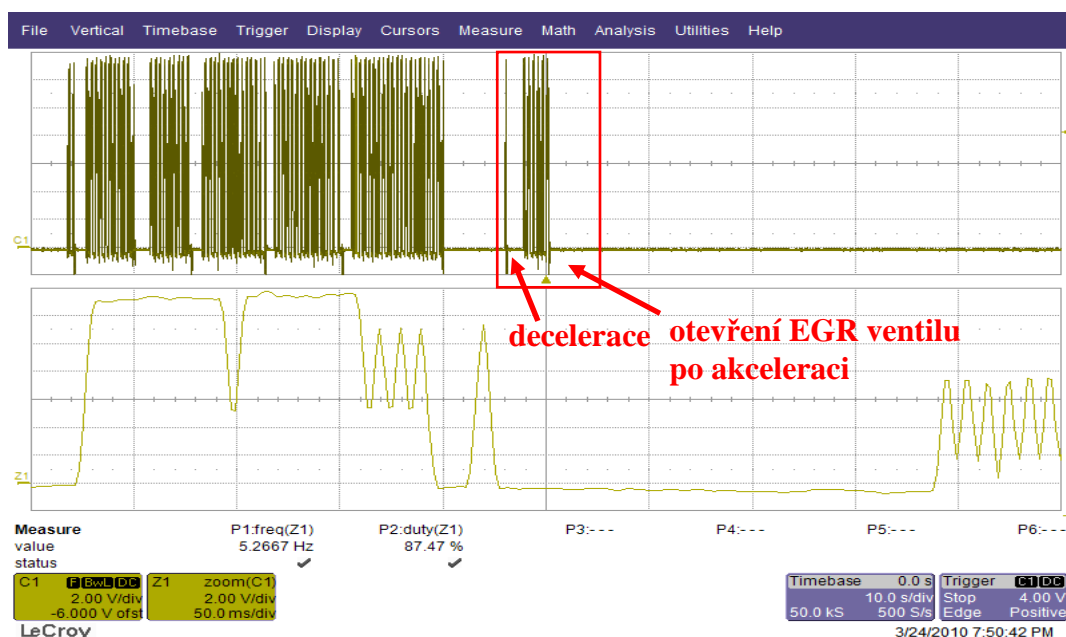
Obr. 38 Detailní průběh- sešlápnutí spojky a reakce ERG ventilu

Na tomto průběhu ve vyznačeném místě vidíme, že máme zařazený 5. rychlostní stupeň, následnou prudkou akceleraci a uzavření EGR ventilu.



Obr. 39 Průběh napětí na elektromagnetickém ventilu ERG- zařazen pátý rychlostní stupeň, následná prudká akcelerace a uzavření ventilu

Zde na průběhu můžeme vidět vyznačené místo, ve kterém se odehrává decelerace vozidla a následné maximální otevření EGR ventilu, které probíhá po každé akceleraci (plném zatížení motoru) vozidla.



Obr. 40 Průběh napětí na elektromagnetickém ventilu ERG- decelerace, akcelerace

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zjistit princip systému recirkulace výfukových plynů u spalovacích motorů. Ve většině vozidel je už tento systém zpětného vedení výfukových plynů povinně namontován, aby bylo zamezeno vypouštění nadměrného množství oxidu dusíku do ovzduší. Tím by se měly zlepšit životní podmínky nejenom pro nás lidi, ale také pro okolní životní prostředí.

V teoretické části jsem popsal jednotlivé systémy, které umožňují zpětné vedení výfukových plynů. U vozidel na kterých byla prováděna analýza lze konstatovat, že ovládání systému recirkulace výfukových je řešena u vznětových motorů pneumaticky spolu s elektronickým nastavením žádané hodnoty a u zážehových motorů čistě elektronicky.

V praktické části jsem se zabýval přímo ovládáním systému zpětného vedení výfukových plynů. Tímto měřením jsem zjistil, že ovládání probíhá velmi dynamicky. Systém je navržen tak, aby minimálně ovlivňoval výkon motoru. Tento systém tedy pracuje následujícím způsobem: Ve volnoběžných otáčkách (což představuje minimální zatížení motoru) je systém recirkulace výfukových plynů vypnutý, aby nedocházelo k problematice nedostatku vzduchu při spalování paliva ve spalovacím prostoru a možnému selhání chodu motoru. Ve středním zatížení motoru (cca střední otáčky), což představuje plynulou jízdu například po městě, se systém recirkulace výfukových plynů spouští a tím začíná zpětná recirkulace výfukových plynů do spalovacího prostoru a tudíž zmírnění oxidu dusíku ve výfukových zplodinách. Dále při vysokém zatížení motoru, což představuje plné sešlápnutí plynového „akceleračního“ pedálu (například při předjíždění vozidla na dálnici), dochází opět k uzavření systému recirkulace výfukových plynů a motor může dosáhnout svého maximálního výkonu, není již omezen zpětným nasáním výfukových plynů. Systém recirkulace výfukových plynů má také své nevýhody. Mezi jednu z hlavních nevýhod tohoto systému bezesporu patří to, že při chodu motoru dochází k zanášení zpětného vedení sazími neboli zplodinami vznikajícími spálením paliva. To způsobuje nesprávnou funkci tohoto systému. Řešením je pak pročištění tohoto systému buď v autorizovaném servisu, nebo pro zručné lidi, kteří se nebojí práce s pročištěním tohoto systému, vlastními prostředky (ale to se v mnoha případech nedoporučuje).

V této zadané úloze jsem si uvědomil význam těchto systémů pro zlepšení emisí u vozidel a jejich precizní zpracování u jednotlivých spalovacích motorů. Pochopil jsem návaznost jednotlivých systémů na sebe navzájem a blíže jsem se seznámil s funkčním řešením jak zážehového, tak vznětového motoru. Abych tyto systémy lépe pochopil, použil jsem, a zároveň jsem se naučil pracovat s jednotlivými měřicími přístroji, které jsem měl pro práci k dispozici v měřicí učebně. Zadaná úloha mě seznámila s řadou nových vědomostí a také jsem získal mnoho zkušeností v dané problematice.

Tento systém zpětného vedení výfukových plynů však není jediný systém, který se zabývá tímto zmírněním oxidu dusíku ve výfukových plynech. Například jeden z modernějšího systémů je SCR/BlueTec – systém využívající konstrukční optimalizace procesu spalování a selektivní katalytické redukce (SCR). Myslím si, že tyto systémy se budou nadále vyvíjet kupředu, ale podle dosavadních informací se již brzy přejde na hybridní pohony nebo už již na pohony čistě s elektrickou energií, u něhož jsou emise zplodin nulové, tudíž systém pro zlepšení emisí výfukových zplodin pak bude úplně zanedbán.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VLK, František. *Příslušenství vozidlových motorů*. Brno : Mokrohorská 34, 2003.
- [2] *Vznětový motor 2,0 l/103kW 2V*. Mladá Boleslav : ŠKODA, automobilová a.s., 2002. 47 s
- [3] VLK, František. *Automobilová technická příručka*. Brno : Mokrohorská 34, 2003.
- [4] [http://vita.upol.cz/ferenc/n\\_mot/n.htm](http://vita.upol.cz/ferenc/n_mot/n.htm) [cit. 2009-12-10].
- [5] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1%C5%BEEhov%C3%BD\\_motor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1%C5%BEEhov%C3%BD_motor)  
[cit. 2009-12-10].